



## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

농학석사 학위논문

일본잎갈나무(*Larix kaempferi*)

조림지의 간벌 이후

시간 경과에 따른 서식지 구조와

설치류 군집구조 변화

Changes of rodent community and habitat  
structure with time elapse after thinning in  
Japanese larch (*Larix kaempferi*)  
plantations

2016년 2월

서울대학교 대학원

산림과학부 산림환경학전공

전 중 훈

일본잎갈나무(*Larix kaempferi*)

조림지의 간벌 이후

시간 경과에 따른 서식지 구조와

설치류 군집구조 변화

Changes of rodent community and habitat  
structure with time elapse after thinning in  
Japanese larch (*Larix kaempferi*)  
plantations

지도교수 이 우 신

이 논문을 농학석사 학위논문으로 제출함  
2016년 2월

서울대학교 대학원

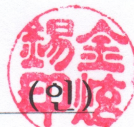
산림과학부 산림환경학전공

전 종 훈

전종훈의 농학석사 학위논문을 인준함  
2016년 2월

위 원 장

金 炫 錫



부위원장

李 宇 新



위 원

任 信 在



## 초 록

본 연구는 경북 봉화군 장군봉지역의 일본잎갈나무(*Larix kaempferi*) 조림지에서 간벌 후 시간 경과에 따른 서식지 구조와 설치류 군집 구조의 변화를 비교하기 위해 실시하였다. 1960~70년대 조림한 동령림에서 간벌1년차, 간벌3년차, 간벌7년차 조사구를 3개 선정하였고, 간벌을 실시하지 않은 대조구를 선정하여 후향적 연구(retrospective study)를 수행하였다. 서식지 환경 조사를 위해 서식지 구조에 해당하는 교목, 아교목, 관목, 초본, 수목잔존물에 대해 각 조사구 별로 매목조사를 실시하였다. 설치류는 생체포획법(live-trapping method)을 이용하여 포획하였다. 서식지 구조 조사 결과, 간벌을 실시한 처리구에서 대조구에 비해 교목의 수고와 흉고직경이 크게 나타났으며, 수목잔존물의 수는 간벌1년차 처리구에서 가장 많았다. 초본과 관목의 밀도는 간벌3년차 처리구에서 가장 높았으며, 간벌7년차 처리구가 그 뒤를 이었다. 이는 간벌 후 임분밀도의 감소로 수관층의 일부가 제거되어 광량이 증가하고 이로 인하여 중층과 하층식생의 밀도가 증가하였다가 열려있던 수관층이 닫히면서 다시 감소하는 것으로 이해할 수 있다. 등줄쥐와 흰넓적다리붉은쥐, 대륙밭쥐, 다람쥐가 포획되었으며, 4종 468개체가 923회에 걸쳐서 포획되었다. 설치류 군집의 개체수는 대조구보다 간벌을 실시한 처리구에서 많았다. 이는 간벌 후 하층식생과 수목잔존물이 증가하여 설치류의 가용 커버가 늘어났기 때문에 설치류의 개체수가 증가한 것으로 판단된다. 설치류 4종의 서식지 환경은 종별로 다르게 나타났다. 정준상관분석 결과, 등줄쥐는 서식지 변수와의 상관관계가 가장 낮았으나 초본 및 암석피도가 높은 개활성의 환경에서 서식하며, 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐는 상층피도가 높고



수목잔존물의 부피가 많은 환경에서 서식하였다. 또한, 다람쥐는 중층피도가 높고 토양의 낙엽층이 깊은 환경에서 주로 서식하는 것으로 나타났다. 처리구별 설치류 군집 구조에서 등줄쥐는 모든 처리구에서 높은 비율을 보였으며 간벌1년차에서 다소 낮았다. 흰넓적다리붉은쥐와 대륙발쥐는 상대적으로 간벌1년차에서 높은 비율을 나타냈다. 이는 간벌1년차 처리구에서 간벌 이후 수목잔존물의 증가로 흰넓적다리붉은쥐와 대륙발쥐의 서식환경이 조성되어 두 종의 비율이 증가하고, 등줄쥐의 비율은 흰넓적다리붉은쥐와 대륙발쥐의 증가로 인해 상대적으로 감소한 것으로 생각된다. 그리고 간벌3년차 처리구에서는 교목층피도가 낮고 하층피도가 높은 개활성의 서식지가 형성되어 등줄쥐의 비율이 증가한 것으로 판단된다. 다람쥐는 간벌3, 7년차 처리구에서 상대적으로 높은 비율을 보였으며 이는 간벌 후 관목이 증가하여 다람쥐의 서식 환경이 조성되었기 때문인 것으로 생각된다. 각 설치류 종은 각자 다른 서식지 변수에 대한 선호도를 가지고 있으며, 이에 따라 간벌 이후 발생하는 서식지 구조의 변화에 대해 종별로 다르게 반응하는 것으로 판단된다. 본 후향적 연구를 통해 간벌 후 시간 경과에 따른 서식지 구조와 설치류 군집 구조의 변화를 예상할 수 있었으며, 이를 기반으로 수목잔존물의 존치와 중층, 하층식생의 유도과 같이 야생동물 서식을 고려한 산림관리가 필요한 것으로 생각된다.

**주요어:** 서식지 구조, 서식지 환경, 설치류, 수목잔존물,

일본잎갈나무 조림지, 정준상관분석, 하층식생

**학 번:** 2014-20037

# 목 차

I. 서론 .....	1
II. 연구사 .....	3
1. 간벌에 따른 산림환경의 변화 .....	3
2. 설치류 군집의 서식지 이용 .....	5
3. 산림시업에 따른 설치류 군집의 변화 .....	7
4. 연구 대상종 .....	9
III. 재료 및 방법 .....	15
1. 연구 대상지 .....	15
2. 연구 방법 .....	19
2.1. 서식지 구조 조사 .....	19
2.2. 설치류 포획 조사 .....	24
2.3. 통계 분석 .....	25
IV. 결과 .....	27
1. 처리 간 서식지 구조 비교 .....	27
1.1. 처리 간 서식지 구조 분석 .....	27
2. 처리 간 설치류 군집 비교 .....	38
2.1. 전체 설치류 포획 결과 .....	38
2.2. 처리별 설치류 포획 결과 .....	42
2.3. 처리 간 설치류 군집 구조 비교 .....	44
3. 설치류 종별 서식지 환경 변수 분석 .....	45
V. 고찰 .....	47
1. 간벌 후 시간 경과에 따른 서식지 구조 변화 .....	47
2. 간벌 후 시간 경과에 따른 설치류 군집 구조 변화 .....	49
VI. 결론 .....	52
인용문헌 .....	54
Abstract .....	81

## List of tables

Table 1. Geographical and ecological information of the study area .....	18
Table 2. Descriptions of habitat variables measured in this study .....	22
Table 3. Habitat variables (mean±SE) of control and treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	29
Table 4. Live-trapping results at control and three treatment sites ( <i>Aa</i> : <i>Apodemus agrarius</i> , <i>Ap</i> : <i>Apodemus peninsulae</i> , <i>Mr</i> : <i>Myodes regulus</i> , <i>Ts</i> : <i>Tamias sibiricus</i> ) .....	39
Table 5. Dominance index (DI) of each rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	41
Table 6. Capture rate (mean±SE) of each rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning). Different letters indicate significantly different value ( $p<0.05$ ) .....	43

## List of figures

- Figure 1. Location of study area on Mt. Janggun, Bonghwa, Gyeongsangbuk Province, Korea (●: Control, ■: 1 year after thinning treatment, ▲: 3 years after thinning treatment, ◆: 7 years after thinning treatment) ..... 17
- Figure 2. Scheme of vegetation sampling plot in this study (left: trees (gray square, 20×20m), right: shrubs (gray square, 5×5m), herbaceous plants (black square, 1×1m)) ..... 21
- Figure 3. Comparison of tree crown ratio (%) between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) ..... 32
- Figure 4. Comparison of number of shrub stems between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) ..... 33
- Figure 5. Comparison of coverage of shrub layer between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) ..... 34
- Figure 6. Comparison of coverage of tree layer between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) ..... 35



Figure 7. Comparison of number of CWD pieces between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	36
Figure 8. Comparison of coverage of rock between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	37
Figure 9. Comparison of the total number of trapped rodents between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	40
Figure 10. Proportions of rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	44
Figure 11. Canonical correspondence analysis ordination diagram of trapping rate of each rodent species and habitat variables (arrows). Abbreviations of rodent species and habitat variables, <i>Aa</i> : <i>Apodemus agrarius</i> , <i>Ap</i> : <i>Apodemus peninsulae</i> , <i>Mr</i> : <i>Myodes regulus</i> , <i>Ts</i> : <i>Tamias sibiricus</i> , TC: coverage of tree layer, STC: coverage of subtree layer, SC: coverage of shrub layer, HC: coverage of herbaceous plant layer, RC: coverage of rock, SS: shrub stems, SH: shrub height, HS: herbaceous plant stems, HH: herbaceous plant height, TBA: tree basal area, TH: tree height, VolCWD: volume of CWD, DC: decay class of CWD, LD: litter layer depth .....	46

# I. 서론

간벌은 퇴행천이(setting back succession)를 일으키는 대표적인 교란으로 간벌 이후 열려있던 수관층이 다시 닫히고, 증가한 하층식생이 감소하는 등 산림환경의 점진적인 변화를 야기한다(Pearson 2000, Suzuki and Hayes 2003). 이러한 산림의 상층, 하층구조의 변화는 그 공간에 서식하고 있는 설치류(Yahner 1986, Nordyke and Buskirk 1991, Mengak and Guynn 2003, Homyack et al. 2005), 침서류(Yahner 1986, Mengak and Guynn 2003), 토끼류(Sullivan and Sullivan 1988, Homyack 2003), 우제류(Gill et al. 1996), 조류(Schieck and Song 2006) 등 야생동물 군집에 영향을 미치게 된다.

특히, 산림생태계 내 척추동물 중에서 가장 큰 부분을 차지하고 있는 설치류는 산림생태계내의 1, 2차소비자 역할을 할뿐만 아니라, 종자(Li and Zhang 2003, Moore et al. 2007, Li and Zhang 2007)와 균근 곰팡이(Maser et al. 1978)를 산포하는 중요한 구성요소이다. 또한, 굴을 파는 습성으로 인해 토양에 공기를 통하게 하여 토지를 비옥하게 하고(Abaturov 1972, Hole 1981, Bakker et al. 2004), 수많은 척추동물 포식자에게 주된 먹이원이 된다(Whitaker and Hamilton 1998). 그리고 설치류는 생활사가 짧고 번식률이 높아 환경변화에 민감하여 교란에 대한 반응연구에 많이 이용되었다(Takeo Kawamichi 1996).

일본잎갈나무(*Larix kaempferi*)는 1960~70년대 산림녹화기간과 맞물려 국내에서 가장 조림이 많이 이루어진 침엽수종 중에 하나이며 산림녹화에 크게 기여한 대표적인 속성수이다. 1960년 이후 누적된 일본잎갈나무의 조림면적은 약 70만ha에 달하며, 현재에는 전체 산림면적의

6.6%(2010년 기준 424,668ha)를 차지할 만큼 리기다소나무(2010년 기준 386,991ha)와 함께 우리나라의 대표 조림수종이라고 할 수 있다(국립산림과학원 2012). 당시 조림했던 일본잎갈나무의 대부분이 4~5영급에 진입하면서 현재에는 간벌이 활발히 진행되고 있는 중이다. 따라서 일본잎갈나무 조림지 관리의 필요성은 증가할 것 보이며 산림생태계의 건강성을 향상시키기 위해 간벌 이후 시간 경과에 따른 산림환경과 설치류 군집의 변화 연구가 필요하다.

본 연구에서는 1. 간벌 후 수목잔존물과 하층식생의 증가는 설치류 군집의 풍부도를 증가시킬 것이며, 2. 종별 서식지 환경의 차이로 인해 간벌 후 시간 경과에 따라 설치류 군집 구조가 변화할 것이라는 가설을 세웠으며, 간벌시기가 다른 처리구(간벌1년차, 간벌3년차, 간벌7년차)를 선정하여 후향적 연구(retrospective study)를 수행하였다. 본 연구의 목적은 일본잎갈나무 조림지에서 간벌 이후 시간 경과에 따른 서식지환경의 변화와 설치류 군집의 변화를 비교하여, 일본잎갈나무 조림지에서 간벌이 소형설치류 군집의 구조에 미치는 영향에 대해 고찰하는 것이다.

## II. 연구사

### 1. 간벌에 따른 산림환경의 변화

산림관리 방안 중 하나인 간벌은 산림조성 시기부터 주벌 사이에 이루어지는 여러 종류의 임목 채취를 일컫는다(정 2005). 조림지에서의 간벌은 주로 직경생장의 촉진과 임목의 수형을 평준화하기 위해 미성숙 임목 또는 임분에서 실시하는 벌목이다(정 2005). 또한, 간벌은 임분밀도의 조절을 통해 임목간의 경쟁을 감소시켜 개체목의 건강성을 증진시킨다(Ford-Robertson 1971). 간벌 후 증가한 광량은 임분 내 산림하층의 초본과 관목층의 식생을 발달시키고(Marshall 1990, Hayes et al. 1997, Sullivan et al. 2001) 가지의 생장을 증가시켜 수관비율이 증가하는(Varmola and Salminen 2004) 등 동령림의 수직적 구조를 변화시킨다(Hunter 1990, Oliver and Larson 1990).

Cole et al. (2010)의 침엽수(sitka spruce, *Picea sitchensis*; western hemlock, *Tsuga heterophylla*)림의 간벌이 하층식생에 미치는 영향에 관한 연구에서는 간벌 후 줄어드는 수관피도는 7년 동안 66%가량 회복되며 하층식생의 피도(광엽초본, 관목층피도)는 2~4년 동안 증가한 후 감소하여 간벌 7년차에 접어들어 간벌 전의 수준에 이르게 된다고 하였다. Chan et al. (2006)의 침엽수(douglas-fir; *Pseudotsuga menziesii*)림의 간벌과 하부식재(underplanting)에 의한 상층과 하층구조의 발달에 관한 연구에서는 간벌 이후 교목의 흉고직경과 수관비율이 증가하며, 증가한 수관피도는 3년 후 빠르게 감소하였다. 하층식생의 경우, 관목피도는 8년까지 점진적으로 증가하며 초본피도는 5년까지 증가 후 감소하는 것으로



나타났다. 또한, 하부식재(douglas-fir, western hemlock)가 처리된 간벌지에서는 묘목의 생존률이 88%인 것에 반해, 미간벌지의 경우 내음성(shade-tolerance) 수준인 western hemlock만이 생존하였으며 생존률은 13%에 불과하였다. 이러한 결과로 임분의 다층적구조의 발달을 위해서는 간벌과 하부식재가 필요하다고 제안하였다. 국내에서 이루어진 Son et al. (2004a, 2004b)의 일본잎갈나무 조림지의 간벌에 따른 하층식생의 변화에 관한 연구에서는 광합성유효방사(PAR, photosynthetically active radiation)값과 관목밀도는 간벌 후 7년차 처리구에서 4년차 처리구보다 낮은 값을 보여 시간 경과에 따른 수관피도의 회복을 나타냈다.

일반적으로 간벌은 교목의 흉고직경과 수관비율을 증가시키고 하층식생을 발달시키는 등 임분 내 수직적인 구조에 변화를 가져온다. 그러나 간벌에 의한 이러한 변화의 양상과 정도는 지역과 수종, 간벌의 강도에 따라 다르게 나타나므로 조림지에서는 간벌에 소요되는 비용에 대해 경제적인 효과를 최대화하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

## 2. 설치류 군집의 서식지 이용

포유류의 서식지 이용에 관한 연구는 대상종의 분포와 풍부도(abundance)를 이해하는데 있어서 필수적인 부분이다(Prevedello et al. 2010). 각 종은 이용 가능한 자원의 유무에 따라 서식지를 선택적으로 이용한다(Garshelis 2000). 또한, 서식지 이용은 자원의 유무 뿐만 아니라 동종(conspecific)간, 이종(interspecific)간의 상호작용에 영향을 받는다(Fretwell and Lucas 1969, Rosenzweig 1981, Morris 1988).

서식지 선택은 먹이자원의 이용, 포식자에 대한 반응, 은신처 이용, 번식행위과 같은 활동을 기반으로 이루어진다(Holbrook 1979, Garshelis 2000). 소형 포유류의 서식지 선택에 대한 연구는 일반적으로 포획조사와 함께 포획정점에서의 환경인자 조사를 통한 포획밀도와 환경인자와의 연관성 분석을 통해 이루어졌다(e.g. Dueser and Shugart 1978, Lacher and Alho 1989, Jorgensen and Demarais 1999, Coppeto et al. 2006). 2000년대에 들어 중·대형 포유류의 무선추적(radio-tracking)을 통한 연구가 활발히 이루어지면서 개체들의 서식지 이용과 선택에 대해 보다 자세한 결과를 얻을 수 있게 되었다(e.g. Valenzuela and Ceballos 2000, Dunstone et al. 2002). 따라서 최근에는 무선추적자료의 분석(e.g. Emsens et al. 2013, Borremans et al. 2014, Suselbeek et al. 2014, Lima et al. 2016)이나 GIS(geographic information system) 분석(e.g. Campbell et al. 2012, Okulova et al. 2014, Meliyo et al. 2014, Enkhbold et al. 2015) 등 다양한 방법을 통해 설치류의 서식지 이용 및 선택에 대한 연구가 진행되고 있다.

국내에서 설치류의 서식지 이용 및 선택에 관한 연구는 1990년대 이후부터 본격적으로 시작되었다. 서식지 구조에 따른 설치류 개체군 변화

연구(임 1997), 간벌과 개벌에 따른 설치류 개체군 변화 연구(Rhim and Lee 2001a, Kang et al. 2013), 산불 후 관리방법에 따른 설치류 개체군 변화 연구(Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a) 등을 통해 각 종의 서식지 이용 패턴을 파악하고 서식지 관리 방안을 제시하고자 하였다. 또한 최근 무선추적을 이용하여 우점 설치류 3종의 잠자리 선호 환경에 대한 연구(이 2011)가 이루어졌다..

### 3. 산림사업에 따른 설치류 군집의 변화

산림사업(forest management)이란 산림의 생산성을 유지하기 위해 숲을 갱신, 관리, 이용, 보전하는 행위이며(Ford-Robertson 1971), 일반적으로 동령림(even-aged forest)과 이령림(uneven-aged forest)에서의 두 가지 관리체제로 나뉜다(Society of American Foresters 1981). 이령림에서는 잣은 빈도(5~10년 주기)로 한 개 또는 적은 단위(0.1ha)에서의 택벌(selective cutting)을 통해 관리된다(Yahner 2000). 동령림에서는 넓은 면적(0.5~20ha)의 임분을 대상으로 모든 나무를 제거하는 전벌(clearcutting)과 천연갱신을 위해 소수만을 남겨놓는 모수간벌(seed-tree cutting), 갱신수종을 보호하기 위한 산벌(shelterwood cutting)을 통해 관리되며(Yahner et al. 2012) 임분의 순환주기가 완료되기 전에 목재를 수확하는 간벌(thinning)이 실시된다. 간벌은 산림의 퇴행천이를 일으키는 대표적인 교란으로 임분의 구성과 구조를 변화시키고 임분 내에 서식하는 야생동물 군집에 영향을 준다(Yahner 2000).

산림천이에 따른 설치류 군집의 변화와 관련한 연구는 1960년을 전후로 하여 간벌이나 개벌과 같은 산림사업과 연관되어 북미 지역을 중심으로 진행되어왔다. 과거에는 간벌(e.g. Gentry et al. 1968) 또는 개벌(Tevis 1956a, Tevis 1956b, Wu-Pin 1958, Harrison 1965)에 따른 소형 포유류에 대한 반응 연구와 같이, 산림사업지와 비사업지 또는 사업 전후로 하여 달라지는 소형 포유류의 서식 현황에 대한 비교 연구가 주를 이루었다. 이러한 선행연구를 기반으로 간벌(e.g. Suzuki et al. 2003, Fuller et al. 2004, Converse et al. 2006, Sullivan et al. 2009) 또는 개벌(e.g. Ramirez and Hornocker 1981, Fuller et al. 2004) 후 시간경과에 따라 변화하는 산림환경에 대한 소형포유류 군집 혹은 개체군의 변화에



관한 연구와 같이, 시업연도가 다른 지역에서 조사비교를 하는 후향적 연구나 시업 이후 동일 지점에서 장기 모니터링을 하는 실험적 연구(experimental study)를 통해 천이에 대한 연구가 진행되었다. 현재에는 기존에 출판된 논문들의 리뷰를 통해 자료를 같은 양식으로 변환하여 분석하는 메타분석연구(e.g. Zwolak 2009, Sullivan et al. 2013, Michal and Rafal 2014)가 주로 이루어지고 있다.

그러나 국내에서는 아직까지 설치류 군집에 관한 연구는 간벌에 의한 소형포유류 반응에 대한 연구(Rhim and Lee 1999), 낙엽활엽수림에서 간벌과 개벌에 따른 설치류 두 종의 개체군 변화(Rhim and Lee 2001a), 일본잎갈나무림의 간벌과 개벌에 따른 소형 포유류 개체군 특징(Kang et al. 2013)과 같이 시업의 전후 비교에 대한 연구가 중점적으로 진행되었다. 고정조사구를 선정하고 장기적인 모니터링을 실시하여 변화상을 비교하는 실험적 연구는 산림시업에 따른 설치류 군집의 변화를 보다 명확하게 파악할 수 있으나, 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 단기적으로 간벌 시기가 다른 지역에서의 산림환경과 설치류 군집의 차이를 파악하는 후향적 연구를 통해 산림시업 이후 발생하는 산림 내 서식지 구조의 변화와 이에 대한 설치류 군집의 반응을 예측할 필요가 있다.

## 4. 연구 대상종

### 3.1. 등줄쥐

등줄쥐(striped field mouse, *Apodemus agrarius*)는 서부 유럽에서 바 이칼호수까지, 동으로는 아무르강 동부지역부터 중국, 한국, 대만 그리고 일본의 일부 섬(Uotsuri-jima, Nansei Isls.)에 이르기까지 구북구 전역에 걸쳐 분포하고 있다(Shiraishi and Arai 1980, Kaneko 2005, Musser and Carleton 2005). 외부 형태로는 등은 황갈색, 배는 흰색을 띠고 등에 뚜렷한 검은색의 줄이 있는 것이 특징이며(Kaneko 2005), 체중은 성체의 경우 23.1~42.0g이다(이 2011). 번식기는 따로 정해져 있지 않고 4월부터 12월까지 연중 번식하는 것으로 알려져 있으며(이 2011), 한번에 2.07~2.65마리의 새끼를 낳는다(Wang et al. 2004). 수명은 사육 상태에서 2.2년(Savage et al. 2004), 야생에서는 봄에 태어난 경우 6개월, 가을에 태어난 경우 11~12개월 가량으로 알려져있다(Schwarz et al. 1964). 식성은 잡식성(omnivore)이며(Meharg et al. 1997, Toal et al. 2001), 개활성의 서식지를 선호하고, 연중 수컷이 암컷보다 넓은 행동권을 가진다(이 2011). 연간 일주기 행동(circadian activity)에 있어서 여름에는 야행성(nocturnal), 가을에는 주행성(diurnal)과 야행성, 겨울에는 주행성을 보인다(ArgoAtlas 2003).

국외 연구로는 질병(Nemirov et al. 1999, Klempa et al. 2003, Klempa et al. 2005)과 계통 분류(Britton-Davidian 1991, Serizawa et al. 2000, Filippucci et al. 2002, Liu et al. 2004), 유전자 마커 개발(Makova et al. 1998)에 관한 연구가 있으며, 생태 관련 연구로는 형태 비교(Sikorski 1982), 체중 측정을 통한 연령 추정(Yang and Zheng

2003), 종자 분산(Li and Zhang 2003), 이동(Liro and Szacki 1987, Szacki and Liro 1991) 및 행동권(Yang and Zheng 2003, Flavicollis 2006), 개체군 변동(Ylonen et al. 1991, Zaixue et al. 2007, Chernousova 2010), 서식지 이용 특성(Fischer and Schroder 2014), 중간 경쟁(Gliwicz 1981, Simeonovska-Nikolova 2007)등에 대한 연구가 있었다.

국내에서는 국외 연구와 마찬가지로 질병(Lee et al. 1978, Lee et al. 1981, O'Guinn et al. 2008, Song et al. 2009)과 계통 분류(Koh 1986, Koh 1988, Koh 1989, Koh et al. 2000)에 대한 연구가 주로 이루어져 왔으며, 생태 관련 연구로는 소형 포유류 개체군에 대한 연구(Youngman 1956, Davis 1957, Jones and Barber 1957), 번식에 관한 연구(정 1996), 산불 및 임도 건설과 같은 교란에 따른 개체군 변화에 관한 연구(임 등 2007, Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a), 일중 휴면에 관한 연구(윤과 한 2006) 등이 이루어졌다.

### 3.2. 흰넓적다리붉은쥐

흰넓적다리붉은쥐(Korean field mouse, *Apodemus peninsulae*)는 시베리아, 중국의 동북부지역과 간쑤성(Kansu), 한국, 사할린, 일본 홋카이도에 서식하는 것으로 알려져 있다.(Kaneko 2005, Musser and Carleton 2005). 외부 형태로는 등은 어두운 황갈색을 띠고 배는 회거나 옅은 회색을 띤다(Ohdachi et al. 2009). 등줄쥐와는 다르게 등에 검은 줄이 없으며, 체중은 성체의 경우 19~27.6g으로 알려져 있으나(Nakata 1998, Kaneko 2005) 국내 연구(이 2011)에 의하면 23.4~38.4g으로 지역 간, 시기별 차이가 있다고 볼 수 있다. 주로 4월에서 8월 사이에 번식하며(Fujimaki and Kuwahata 1984), 수명은 사육 상태에서 최소 63개월

(Fujimaki and Kuwahata 1984), 야생에서는 13개월로 알려져 있다 (Tsuchiya 1985). 먹이는 크거나 중간 크기의 종자와 소형 무척추동물이 주를 이루며(Maeda et al. 1984), 서식지는 관목지나 초지 또는 조림지와 농경지 같은 2차 식생(secondary vegetation) 지역이다(Ohdachi et al. 2009). 행동권은 4계절 중 가을에 가장 크고 겨울에 가장 작으며, 수컷이 암컷보다 대체로 큰 행동권을 가진다(Lee et al. 2012b). 해가 진 이후부터 야간에 활동하는 일주기 행동을 나타내는 야행성 설치류이다(Yoneda and Nakata 1984).

국외 연구는 계통 분류(Lokugamage et al. 2002, Serizawa et al. 2002, Suzuki et al. 2003, Bellinvia 2004, Jeon et al. 2015) 및 DNA 마커 개발(Eo et al. 2011), 질병(Jiang et al. 2007, Zhang et al. 2007)에 관한 연구가 주로 이루어졌다. 생태 관련 연구는 먹이 저장(Lu and Zhang 2004, Lu and Zhang 2005, Zhang and Wang 2011), 종자 분산(Li and Zhang 2007, Yang and Yi 2011), 경쟁(Wang et al. 2004, Zhang et al. 2014), 고도별 분포(Kaneko 2012), 겨울철 체온 변화(Masaki et al. 2005)에 관한 연구 등이 진행되었다.

국내에서도 질병(Baek et al. 1998, Baek et al. 1999, Baek et al. 2006)과 계통 분류(Koh 1986, Koh 1988)연구가 주를 이루었으며, 최근 들어 산불 및 임도 건설 등 교란에 따른 개체군 변화 연구(임 등 2007, Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a), 선호 서식지 특성에 관한 연구(Rhim and Lee 2001a, Rhim and Lee 2001b), 서식지 구조에 따른 개체군 차이(Rhim and Lee 1999), 개체군 동태(이 2011) 및 행동권(Lee et al. 2012b, Park et al. 2014)에 관한 연구 등 생태 관련 연구가 진행되었다.



### 3.3. 대륙밭쥐

대륙밭쥐(Korean red-backed vole, *Myodes regulus*)는 개마고원 이남에 분포하는 한반도 고유종이다. 외부형태로는 등은 밝은 적갈색을 띠고 배는 전체적으로 회색빛을 띠며(원 1968), 성숙개체의 체중은 21.9~33.3g 이다(이 2011). 보통 5~6월에 번식이 왕성하며 출산 시 5~8마리의 새끼를 낳는다(원 1968). 많은 밭쥐류(vole)와 같이 초식성(herbivore)으로 나무의 열매와 순, 초본류를 먹이로 한다(원 1968). 과거 western red back vole 과 동일 종으로 취급되었으나 1990년 별개 종으로 분리되었다(Kaneko 1990). 일반적으로 고산 산림에 많이 분포하며 최대 1900m의 해발고도에서도 서식하는 것으로 확인되었다(원 1968). 보통 5~6월에 번식이 왕성하고 한배새끼수는 5~8마리로 알려져 있다(원 1968).

관련 연구로는 계통 분류(Kaneko 1990, Koh et al. 2010a, Koh et al. 2011)와 질병(Song et al. 2007, Lee et al. 2014), DNA 유전자(Kim and Park 2012)에 관한 연구가 주를 이루었다. 생태 관련 연구는 분포역이 작아 다른 설치류에 비해 상대적으로 많이 이루어지지 않았으며 선호하는 미세서식지에 대한 몇몇 연구만이 진행되었다(이 2004, Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a).

### 3.4. 다람쥐

다람쥐(Siberian chipmunk, *Tamias sibiricus*)는 동부유럽에서부터 카자흐스탄 동부, 몽골 북부, 중국, 한국, 일본 홋카이도를 거쳐 사할린까지 이르는 넓은 분포역을 갖고 있다(Thorington and Hoffmann 2005). 외부 형태로는 등과 꼬리는 밝은 갈색이고 등에 5개의 줄무늬가 있으며 배와 귀끝이 흰 것이 특징이다. 체중은 71~116g 정도이다(Ohdachi et al. 2009). 보통 봄에서 여름 사이에(4월 중순에서 5월 하순까지) 번식을 하고(Kawamichi and Kawamichi 1993) 출산 시 사육 환경에서는 2~7마리, 야외에서는 3~6마리의 새끼를 낳으며(Kawamichi and Kawamichi 1993), 수명은 5~6년 정도이다(Ishii 2005). 도토리, 종자, 열매, 눈(bud), 나뭇잎, 꽃, 수액 등과 같은 다양한 식물을 먹이로 하며 계절에 따라 먹이원이 조금씩 달라지기도 한다(Kawamichi 1980). 해안부터 고산지대까지 고도에 따른 분포역이 넓으며 산림 주변의 개활성 미세서식지를 선호한다(Ishii 2005). 수컷의 가을철 행동권은 6,630m<sup>2</sup>, 암컷은 3,394m<sup>2</sup>로 알려져 있으며 암수간에 행동권이 겹치기도 한다(Kawamichi 2000). 등지로는 보통 지하 굴이나 나무의 빈공간을 이용하며 도토리 위주로 많은 양의 먹이를 등지에 저장하는 습성을 가지고 있다(Kawamichi 1980). 10월 하순 또는 11월 초순부터 4월 하순 또는 5월 초순까지 동면기이고, 암컷이 수컷보다 일찍 동면한다(Kawamichi 1989).

관련 연구로는 국외에서는 계통 분류(Oshida et al. 1996, Pisanu et al. 2013), 질병(Pisanu et al. 2010, Marsot et al. 2011, Marsot et al. 2013)뿐만이 아니라 먹이 가용성(Yi et al. 2011)과 먹이 저장(Yi et al. 2012), 종자 산포(Zhang et al. 2008, Yi et al. 2013)에 관한 연구와 함께, 행동권(Marmet et al. 2009), 분산(Marmet et al. 2011), 번식(Marmet et

al. 2012), 동면(Mieko Kawamichi 1996), 둥지 구조와 둥지 이용(Kawamichi 1989)과 같은 생태적인 연구가 많이 이루어졌다.

그러나 국내에서는 아직까지 계통 분류(Koh 1994, 함 2007, 김 2008, 이 2009, Koh et al. 2009, Koh et al. 2010b), 질병(이 등 1994, 백 등 1997, Kim et al. 2010), 핵형 분석(김과 이 1990, 1994)에 관한 연구가 중점적으로 진행되었고, 생태 관련 연구로는 활엽수 종자의 2차 분산(김과 김 2013), 공간 이용 특성과 먹이 이용(Jo et al. 2014) 등이 진행되었다.

### Ⅲ. 재료 및 방법

#### 1. 연구 대상지

본 연구의 대상지역은 봉화군 장군봉 시범경영계획구 지역(동경 128° 59' 33.81" ~ 129° 06' 15.21", 북위 36° 47' 20.49" ~ 36° 54' 37.33")으로 경상북도 봉화군 소천면 및 재산면에 걸쳐 위치하고 있다. 총 면적은 8,376ha로 37개의 임반으로 구성되어 있으며 최고봉인 장군봉의 해발고도는 1,120m이다(영주국유림관리소 2014). 내륙산악지대에 위치한 이 지역은 대륙성 기후를 띠며 큰 연교차와 동위도의 타 지역에 비해 낮은 기온을 보인다. 연평균 기온은 9.9℃(1월 평균기온 -3.9℃, 8월 평균기온 22.8℃)로 일 최고기온은 30.1℃, 일 최저기온은 -11.1℃이며, 연 평균강수량은 1,217.9mm이다(기상청 국가기후자료센터 2015).

본 연구는 1960~70년대 일본잎갈나무(*Larix kaempferi*) 조림지 내, 대조구(미간벌지역), 간벌1년차(2014년 간벌), 간벌3년차(2012년 간벌), 간벌7년차(2008년 간벌) 지역에서 각각 3개의 조사구를 선정하여 총 12개의 조사구를 대상으로 수행하였다(Figure 1).

이들 처리구의 상층 식생은 일본잎갈나무가 우점하고 있었으며, 그 외에 대조구에서는 신갈나무(*Quercus mongolica*), 간벌1년차, 간벌3년차 처리구에서는 소나무(*Pinus densiflora*) 등이 생육하고 있었다. 중층 식생은 대조구는 쇠물푸레나무(*Fraxinus sieboldiana*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*), 철쭉꽃(*Rhododendron schlippenbachii*), 간벌1년차 처리구는 쪽동백나무(*Styrax obassia*), 생강나무, 간벌3년차 처리구는 두릅나무(*Aralia elata*), 조록싸리(*Lespedeza maximowiczii*), 산딸기(*Rubus*

*crataegifolius*), 간벌7년차 처리구는 쇠물푸레나무, 물푸레나무(*Fraxinus chinensis* var. *rhynchophylla*), 생강나무 등이 우점하고 있었다(Table 1).

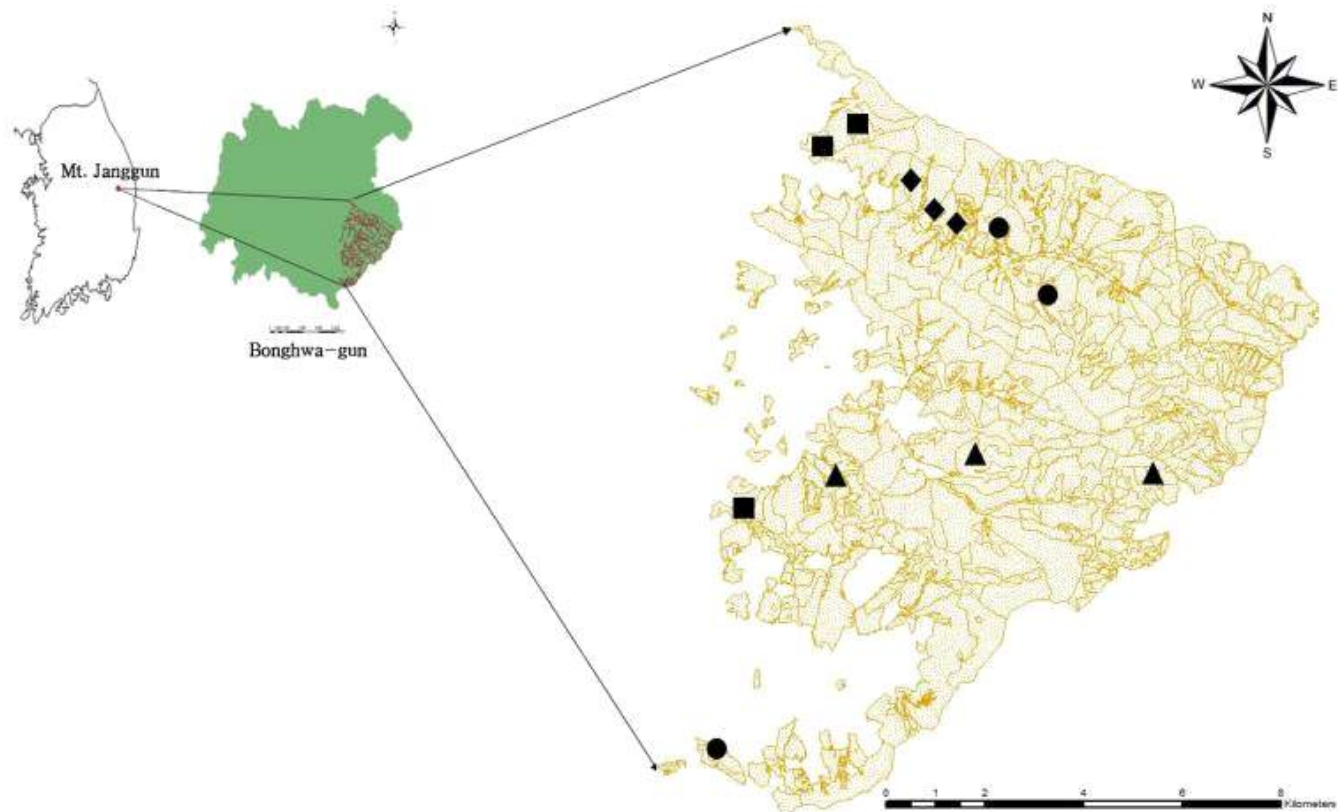


Figure 1. Location of study area on Mt. Janggun, Bonghwa, Gyeongsangbuk Province, Korea  
 (●: Control, ■: 1 year after thinning treatment,  
 ▲: 3 years after thinning treatment, ◆: 7 years after thinning treatment)

Table 1. Geographical and ecological information of the study area

Stands Factors		Control			1 year after thinning			3 years after thinning			7 years after thinning		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Coordi- nates	N	36° 53' 13.38"	36° 52' 29.27"	36° 47' 39.67"	36° 54' 27.91"	36° 54' 11.83"	36° 50' 12.93"	36° 50' 50.39"	36° 50' 34.31"	36° 50' 26.96"	36° 53' 39.98"	36° 53' 29.52"	36° 53' 24.92"
	E	129° 3' 43.42"	129° 4' 29.53"	128° 59' 48.35"	129° 1' 59.25"	129° 1' 31.30"	129° 0' 21.71"	129° 3' 38.27"	129° 5' 52.97"	129° 1' 37.23"	129° 2' 42.23"	129° 3' 2.79"	129° 3' 15.22"
Aspect		E	E	NW	NW	NW	NW	S	SE	NE	E	SE	SE
Altitude (m)		550	671	397	511	537	720	752	898	655	504	503	590
Inclina- tion (°)		27	23	10	26	29	22	27	28	25	29	20	23
Dominant tree species		<i>Larix kaempferi</i> (56.10 <sup>a</sup> ) <i>Quercus mongolica</i> (15.49)			<i>Larix kaempferi</i> (64.80) <i>Pinus densiflora</i> (12.29)			<i>Larix kaempferi</i> (56.80)			<i>Larix kaempferi</i> (69.23) <i>Pinus densiflora</i> (12.39)		
Dominant shrub species		<i>Fraxinus sieboldiana</i> (19.18) <i>Lindera obtusiloba</i> (16.44) <i>Rhododendron schlippenbachii</i> (12.33)			<i>Styrax obassia</i> (22.46) <i>Lindera obtusiloba</i> (10.14)			<i>Aralia elata</i> (14.60) <i>Lespedeza maximowiczii</i> (12.20) <i>Rubus crataegifolius</i> (11.20)			<i>Fraxinus sieboldiana</i> (28.66) <i>Fraxinus chinensis</i> var. <i>rhynchophylla</i> (24.52) <i>Lindera obtusiloba</i> (19.11)		

<sup>a</sup> DI: Dominance Index

## 2. 연구 방법

### 2.1. 서식지 구조 조사

간벌 이후 시간 경과에 따른 서식지 환경의 변화를 파악하기 위해 12개의 모든 처리구에서 1ha(100×100m)의 조사구를 설정하여 서식지 구조 조사를 실시하였다. 서식지 구조 조사는 처리별 매목과 암석피도, 층위별 피도, 수목잔존물, 낙엽층 깊이에 대해 실시하였으며, 산림 식생의 생물량이 최대가 되는 8월 중순부터 9월 초까지 조사를 실시하였다.

매목조사는 1ha의 조사구에서 교목은 3개(20×20m), 관목은 9개(5×5m), 초본은 9개(1×1m)의 하위조사구(subplot)를 설정하여 수행하였다(Kent 2012, Figure 2). 교목은 종, 흉고직경, 수고, 수관비율, 수관폭, 관목은 종, 수고, 수관폭, 초본은 종, 지상부 줄기 수, 높이, 피도를 측정하여 기록하였다(Table 2).

암석피도, 층위별피도, 수목잔존물, 낙엽층 깊이에 대해서는 조사구 내 관목 조사구 안에서 조사를 실시하였다(Table 2). 암석피도 및 층위별피도에 있어서 피도가 0%인 경우에는 0, 1~20%인 경우 1, 21~40%인 경우 2, 41~60%인 경우 3, 61~80%인 경우 4, 81~100%인 경우에는 5로 정하여 피도를 일정한 간격 척도로 수치화하였다(Kent 2012). 층위별피도는 초본층(<1m), 관목층(1~2m), 아교목층(2~8m), 교목층(>8m)의 4개의 층위(layers)로 나누었다(임 1997, 이 2011). 수목잔존물의 부피는 수목잔존물 양끝의 지름과 길이를 측정하여 구하였고(Shorohova and Shorohov 2001, Gibb et al. 2005), 부후단계(decay class)는 0-4의 간격 척도로 수치화하였으며 값이 증가할수록 목재 부후가 많이 진행되었음을 나타낸다(Maser et al. 1988). 낙엽층 깊이는 관목 조사구 내 양끝 4지점



과 중앙 1지점을 측정하여 평균값을 이용하였다(Wayman and North 2007).

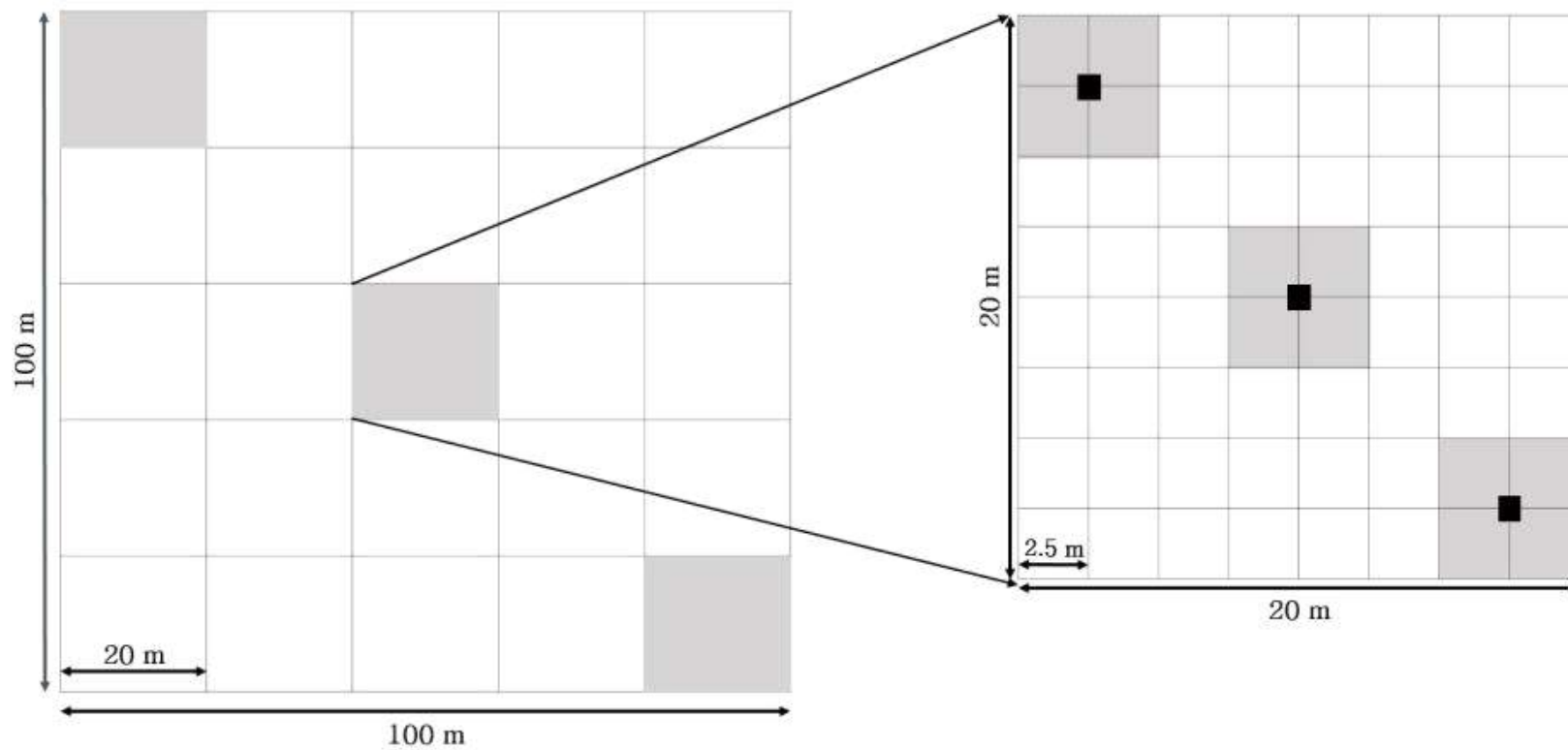


Figure 2. Scheme of vegetation sampling plot in this study  
 (left: trees (gray square, 20×20m),  
 right: shrubs (gray square, 5×5m), herbaceous plants (black square, 1×1m))

Table 2. Descriptions of habitat variables measured in this study

Variables		Description
Trees (DBH $\geq$ 4 cm and height $\geq$ 4 m within 400 m <sup>2</sup> square)	Tree stems (ea)	Number of tree stems
	DBH <sup>a</sup> (cm)	DBH of tree stems
	Tree height (m)	Height of tree stems
	Width of crown 1 (m)	Length of major axis 1 of tree crown
	Width of crown 2 (m)	Length of major axis 2 of tree crown
	Crown ratio (%)	Proportion of crown length to total tree height
Shrubs (DBH $\leq$ 4 cm and 1~2 m height within 25 m <sup>2</sup> square)	Shrub stems (ea)	Number of shrub stems
	Shrub height (cm)	Height of shrub stems
	Width of crown 1 (cm)	Length of major axis 1 of shrub crown
	Width of crown 2 (cm)	Length of major axis 2 of shrub crown
Herbaceous plants (Ground part and height $<$ 1 m within 1 m <sup>2</sup> square)	Herbaceous plant stems (ea)	Number of herbaceous plant stems
	Herbaceous plant height (cm)	Average height of herbaceous plants
	Herbaceous plant cover (%)	Coverage of herbaceous plants

<sup>a</sup> DBH: diameter at breast height (cm)

Table 2. Continued

Variables		Description
	Herbaceous plant layers	Coverage under 1m height
Coverage scale (Scale 0-5 <sup>b</sup> within 25 m <sup>2</sup> square)	Shrub layers	Coverage during 1-2m height
	Subtree layers	Coverage during 2-8m height
	Tree layers	Coverage over 8m height
Rock coverage (Scale 0-5 within 25 m <sup>2</sup> square)		Coverage of rock
CWD <sup>b</sup> pieces (ea, Within 25 m <sup>2</sup> square)		Number of CWD pieces
CWD volume (m <sup>3</sup> , Within 25 m <sup>2</sup> square)		Total volume of downed CWD
Litter layer depth (cm, Within 25 m <sup>2</sup> square)		Average depth of litter layer

<sup>b</sup> Coverage value (Braun blanquet): 0=0%, 1=1~20%, 2=21~40%, 3=41~60%, 4=61~80, 5=81~100%

<sup>c</sup> CWD: coarse woody debris

## 2.2. 설치류 포획 조사

처리 간 설치류 군집 특성을 파악하기 위해 2015년 6월 말부터 2015년 8월 초까지 10일 연속으로 포획조사를 실시하였다.

총 12개의 처리구 내에 1ha(100×100m) 크기의 조사구를 설치하였고, 각 조사구는 임연부 효과(edge effect)에 따른 설치류 군집 간의 영향을 배제하기 위해 최소 6ha 이상의 면적을 가진 처리구 내부에서 실시하였다. 알려진 각 종의 행동권을 기반으로(Kawamichi 2000, 이 2011) 조사구 간 최소 300m 이상의 거리를 두어 조사구 간에 설치류의 이동이 이루어지지 않도록 하였다. 또한, 각 조사구는 포획 조사 및 서식지 환경 조사를 위해 20m 간격의 격자로 세분화한 후 형광 테이프로 표시하여 구분이 될 수 있도록 하였다. 각 조사구 내에서는 가로, 세로 격자의 모서리에 총 36개의 생체포획용 트랩(Sherman collapsible live trap, 7.5x9.2x29.2cm)을 설치하였다. 미끼는 볏을 사용하였으며, 먹이 부족으로 인한 설치류의 폐사를 방지하기 위해 충분한 양을 넣어주었다. 트랩을 설치한 후에는 그 다음날부터 10일 동안 포획된 설치류에 대해 트랩 위치, 종(원 1967, 윤 등 2004), 성별 및 성숙도(James 2011), 무게(단위 1g)를 기록하였다(이 등 2008). 포획된 개체에 대한 개체 인식을 위해 순번을 매겨 귀에 구멍을 뚫고(ear-punching) 포획된 트랩 위치에서 놓아 준 후, 재포획하는 포획-표지방사법(capture-mark and release method)을 사용하였다(Nichols 1992).

### 2.3. 통계 분석

각 조사구에서 얻어진 서식지 변수와 설치류 전체 포획 개체수, 종별 포획률(McCay and Komoroski 2004)을 비교하기 위해 처리 간 Kruskal-Wallis test를 실시하였다(Ecke et al. 2002, Hamm and Diller 2009). Kruskal-Wallis test는 자료가 정규분포를 따르지 않을 때 이용되는 비모수통계법 중 세 개 이상의 요인을 비교하는데 일반적으로 쓰인다(Kruskal and Wallis 1952, Theodorsson-Norheim 1986). 처리 간 유의차를 보인 서식지 변수와 종에 대해서는 Bonferroni 사후검정을 실시하였으며, 자료의 통계분석은 IBM SPSS statistics 23 software를 이용하였다.

처리 간 설치류 군집 구조를 비교하기 위해 설치류 군집 내 종별 포획수에 대한 카이제곱 분석(chi-square test)을 실시하였다. 카이제곱 분석은 서식 환경이나 시기에 따른 생물 군집의 구조의 변화를 설명할 때 사용되는 방법이다(Anthony et al. 1987, Kirkland et al. 1996). 카이제곱 분석시 R software(3.2.2)를 이용하였으며, 5%의 유의성을( $p < 0.05$ ) 나타낼 때 처리 간 군집 구조의 차이를 보이는 것으로 간주하였다.

서식지 환경과 설치류 군집과의 관계에서는 군집 내 종별 서식지 환경을 보고자 종별 포획률과 서식지 변수 간 정준상관분석(CCA, canonical correspondence analysis)을 실시하였다. 정준상관분석은 생물 군집과 환경과의 관계를 설명할 때 사용되는 다변량 분석방법으로 설치류 군집 내 종별 미세서식지 이용에 대한 분석에도 사용된다(Miklos and Ziak 2002, Dalmagro and Vieira 2005). 정준상관분석 시 R software(3.2.2)의 vegan package를 이용하였으며, 유의성 검증을 위해 Monte Carlo permutation (999 repeats)을 실시하였다. 5% 미만의 유의

성을( $p < 0.05$ ) 나타낼 때 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

## IV. 결과

### 1. 처리 간 서식지 구조 비교

#### 1.1. 처리 간 서식지 구조 분석

처리별 서식지 변수의 평균을 이용하여 분석을 한 결과, 총 20개의 요인 중 6개의 요인(교목수관비율, 관목수, 수목잔존물 수, 관목층피도, 교목층피도, 암석피도)에 대해 차이가 나타났다(Table 3: Kruskal-Wallis test). 처리 간 유의한 차이를 보이는 요인에 대해 Bonferroni 사후검정을 실시한 결과, 교목수관비율( $\chi^2=9.46$ ,  $p=0.024$ , Figure 3)과 관목수( $\chi^2=9.36$ ,  $p=0.025$ , Figure 4)는 간벌3년차에서 대조구와 간벌1년차에 비해 높았으며, 수목잔존물의 수( $\chi^2=8.13$ ,  $p=0.043$ , Figure 7)는 간벌1년차 처리구가 대조구에 비해 많았다. 층위별피도의 경우 관목층피도( $\chi^2=8.08$ ,  $p=0.044$ , Figure 5)는 간벌3년차에서 간벌1년차에 비해 높았으며, 교목층피도( $\chi^2=8.61$ ,  $p=0.035$ , Figure 6)는 대조구, 간벌7년차에서 높았고 간벌3년차 처리구에서 낮은 값을 보였다. 암석피도( $\chi^2=9.24$ ,  $p=0.026$ , Figure 8)는 간벌1, 3년차 처리구에서 가장 높은 값을 보였다.

통계적 유의차를 보이지 않는 변수에 대해 평균 비교를 한 결과, 교목의 경우 교목수와 흉고단면적, 수관면적이 대조구에서 가장 높았으며, 흉고직경과 수고는 가장 낮았다. 관목의 경우 수관면적은 간벌3년차 처리구에서 가장 높았으며, 관목수고는 처리 간 큰 차이를 보이지 않았다. 초본은 지상부줄기 수, 높이, 피도 모두 간벌3년차 처리구에서 가장 높았



다. 층위별피도의 초본층피도는 간벌3년차 처리구, 아교목층피도는 대조구에서 가장 높았다. 수목잔존물(CWD)의 부피는 간벌1년차에서 가장 높았으며, 부후 정도는 간벌7년차 처리구에서 가장 높게 나타났다. 토양의 낙엽층 깊이는 처리구 간 큰 차이를 보이지 않았다(Table 3).

Table 3. Habitat variables (mean±SE) of control and treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

Variables		Treatments				$\chi^2$	P
		Control (n=3)	1 year after thinning (n=3)	3 years after thinning (n=3)	7 years after thinning (n=3)		
Trees	No. of tree stems/ha	1411.11±145.64	500.00±159.50	355.56±111.84	661.11±64.61	7.51	0.057
	DBH (cm)	16.74±3.10	24.30±2.04	23.22±4.46	23.97±0.62	4.74	0.192
	Basal Area (m <sup>2</sup> /ha)	38.25±8.31	21.96±3.68	15.17±1.07	32.46±1.53	7.62	0.055
	Tree height (m)	16.80±3.28	18.96±0.97	16.85±3.23	20.89±2.39	1.26	0.740
	Crown ratio (%)	35.86±3.78	33.82±2.72	52.61±1.87	45.66±2.24	9.46	<b>0.024</b>
	Crown area (m <sup>2</sup> /ha)	31751.57±5524.56	16051.07±5418.14	13422.30±2175.69	18763.44±3912.42	5.00	0.172

Table 3. Continued

Variables		Treatments				$\chi^2$	P
		Control (n=3)	1 year after thinning (n=3)	3 years after thinning (n=3)	7 years after thinning (n=3)		
Shrubs	No. of shrub stems/ha	2192.59±514.05	2177.78±950.46	7762.96±629.76	4666.67±247.46	9.36	<b>0.025</b>
	Shrub height (cm)	174.45±26.92	140.91±23.21	166.38±1.93	163.24±15.19	1.36	0.715
	Crown area (m <sup>2</sup> /ha)	3783.58±929.31	3802.83±2018.81	11561.36±1435.11	5880.01±799.31	7.21	0.066
Herbaceous plants	No. of herbaceous plant stems/m <sup>2</sup>	17.33±5.71	32.56±10.47	33.52±1.41	16.22±4.77	6.33	0.097
	Herbaceous plant height (cm)	10.8±0.52	26.97±9.34	37.21±2.61	24.86±4.96	7.31	0.063
	Herbaceous plant Cover (%)	17.78±8.61	38.37±16.73	54.56±7.61	33.11±5.80	4.23	0.238

Table 3. Continued

Variables		Treatments				$\chi^2$	P
		Control (n=3)	1 year after thinning (n=3)	3 years after thinning (n=3)	7 years after thinning (n=3)		
Coverage scale	Herbaceous plant layers (<1m)	1.48±0.33 <sup>b</sup>	2.81±0.68	3.39±0.39	3.15±0.27	5.72	0.126
	Shrub layers (1-2m)	1.70±0.61	1.31±0.54	3.82±0.23	3.37±0.42	8.08	<b>0.044</b>
	Subtree layers (2-8m)	1.93±0.92	0.41±0.26	0.72±0.33	0.41±0.41	4.66	0.199
	Tree layers (>8m)	4.30±0.30	3.37±0.43	2.32±0.38	4.63±0.13	8.61	<b>0.035</b>
Rock coverage		0.11±0.06	0.46±0.02	0.61±0.12	0.00±0.00	9.24	<b>0.026</b>
No. of CWD pieces/ha		548.15±199.31	3362.96±526.08	2237.04±417.19	2088.89±302.53	8.13	<b>0.043</b>
Volume of CWD (m <sup>3</sup> )/ha		104.79±62.41	388.84±94.44	217.39±63.33	206.90±33.71	7.62	0.055
Decay class (0-4)		2.07±1.00	1.43±0.34	2.20±0.31	2.25±0.43	2.90	0.408
Litter layer depth (cm)		7.07±1.20	8.46±0.72	7.74±0.49	6.41±2.20	1.51	0.679

<sup>b</sup> coverage value : 0=0%, 1=1~20%, 2=21~40%, 3=41~60%, 4=61~80%, 5=81~100%

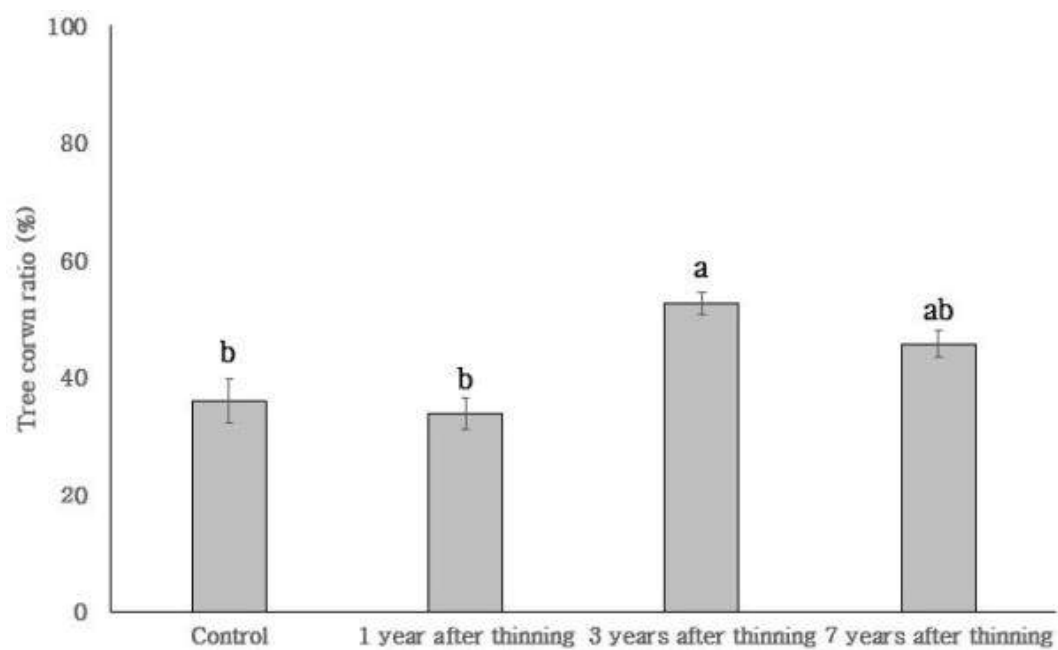


Figure 3. Comparison of tree crown ratio (%) between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

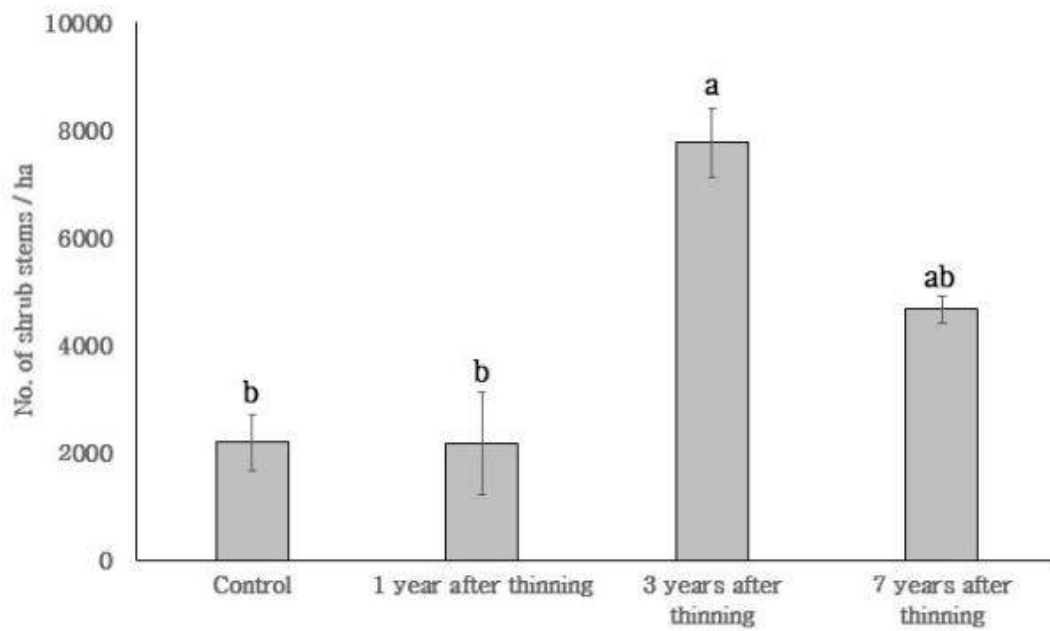


Figure 4. Comparison of number of shrub stems between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

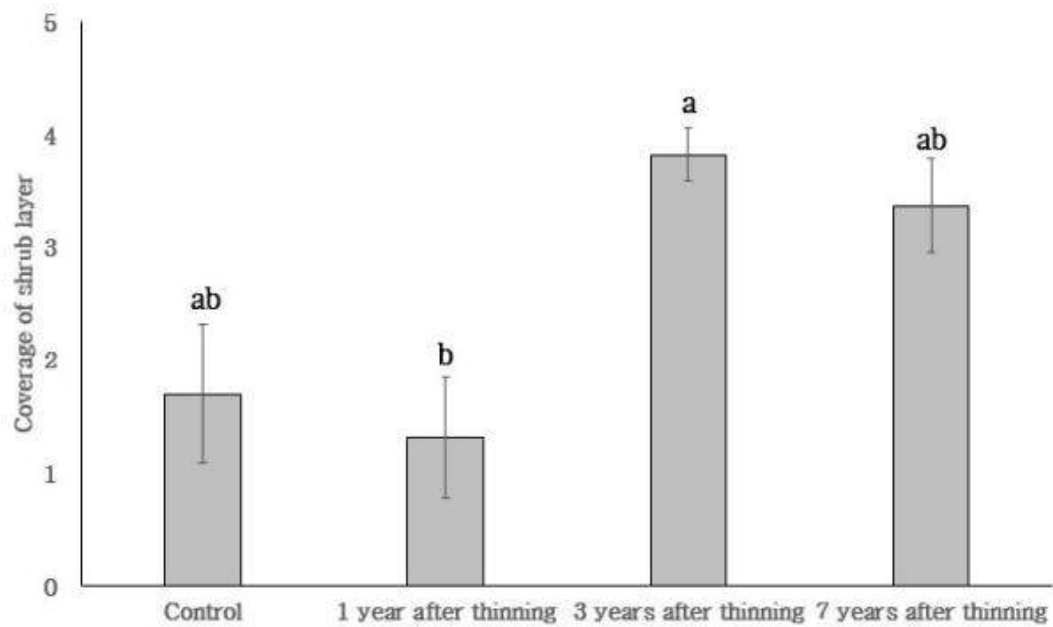


Figure 5. Comparison of coverage of shrub layer between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

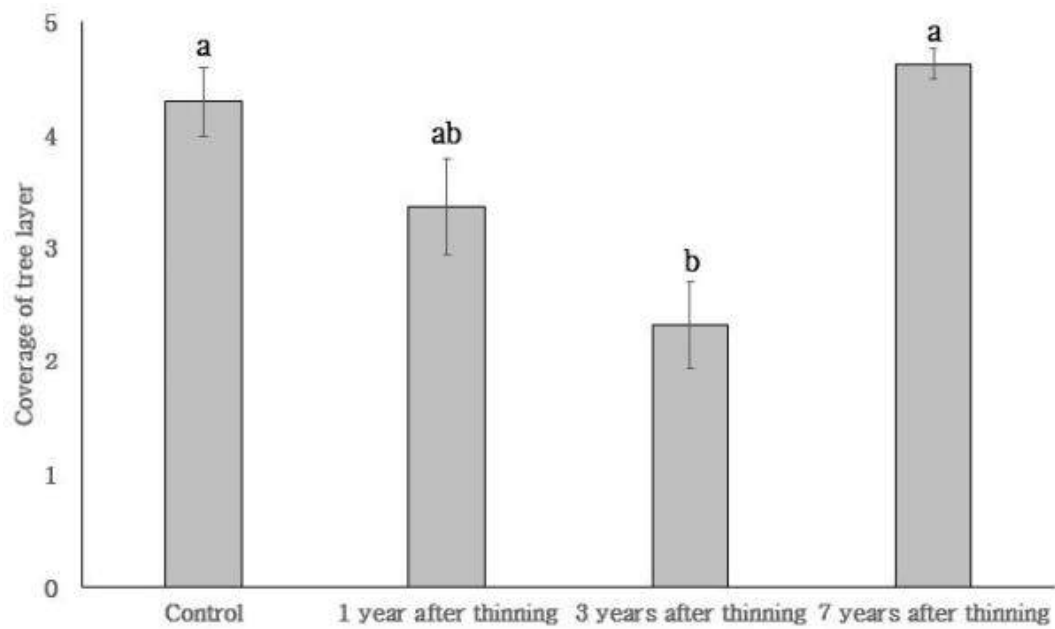


Figure 6. Comparison of coverage of tree layer between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)



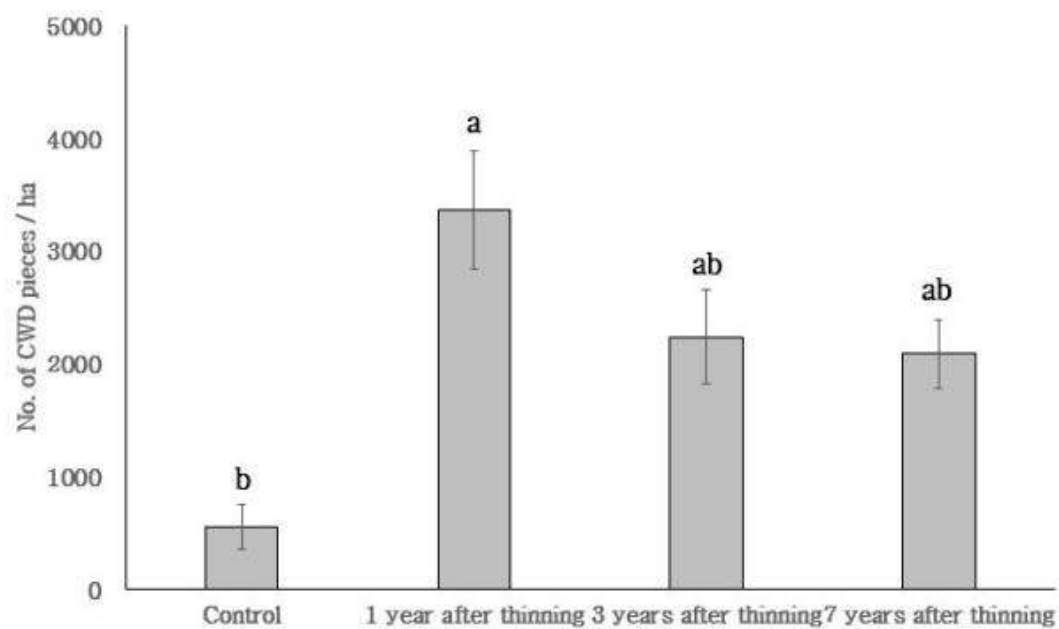


Figure 7. Comparison of number of CWD pieces between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

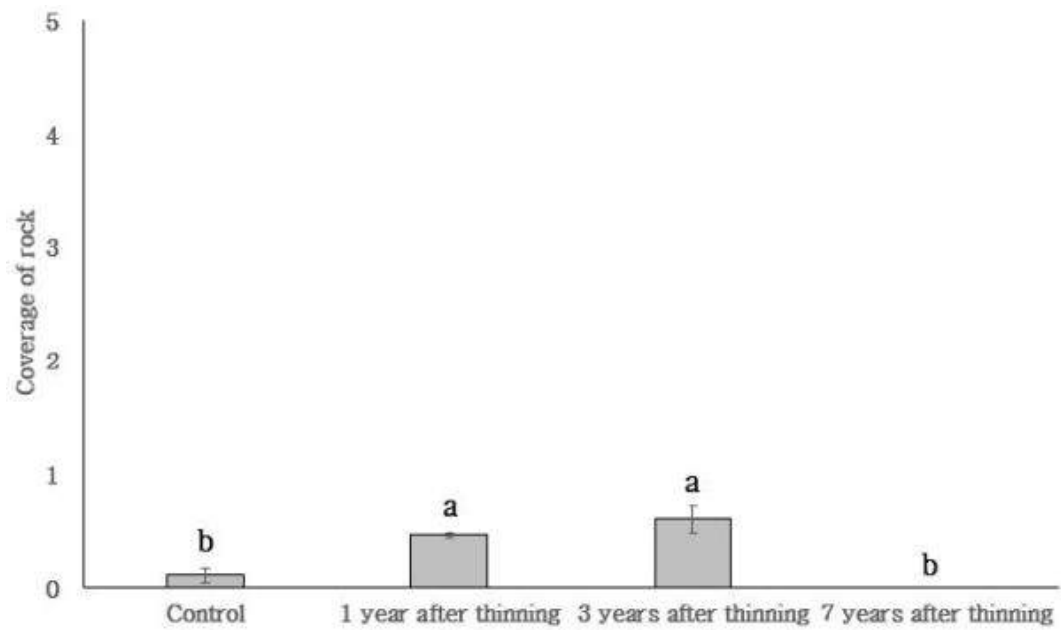


Figure 8. Comparison of coverage of rock between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

## 2. 처리 간 설치류 군집 비교

### 2.1. 전체 설치류 포획 결과

2015년 6월부터 8월까지 처리별 조사구(n=3)에서 각 10일 연속으로 포획조사를 실시한 결과 등줄쥐와 흰넓적다리붉은쥐, 대륙발쥐, 다람쥐 등 총 4종 468개체가 923회에 걸쳐서 포획되었으며, 등줄쥐는 344회, 흰넓적다리붉은쥐는 92회, 대륙발쥐는 9회, 다람쥐는 10회에 걸쳐 총 455회 재포획되었다(Table 4).

처리별 설치류 포획개체수와 포획수는 간별3년차에서 4종 189개체가 367회에 걸쳐 포획되어 가장 높았으며, 간별1년차에서는 4종 126개체가 212회, 간별7년차에서는 4종 106개체가 234회, 대조구에서는 3종 47개체가 63회에 걸쳐 포획되어 가장 낮았다. 또한, 처리별 설치류 포획개체수에 대해 Kruskal-Wallis test를 한 결과, 설치류 개체수는 간별이 실시된 처리구에서 많았으며( $\chi^2=6.253$ ,  $p=0.012$ ), 처리 간 비교에서는 간별 3년차 처리구가 대조구보다 높은 값을 보였다( $\chi^2=8.929$ ,  $p=0.030$ , Figure 9).

포획된 설치류 4종에 대한 종 우점도는 대조구에서는 등줄쥐(83.19), 흰넓적다리붉은쥐(10.56), 대륙발쥐(6.25), 간별1년차에서는 등줄쥐(39.86), 흰넓적다리붉은쥐(34.75), 대륙발쥐(24.83), 다람쥐(0.56), 간별3년차에서는 등줄쥐(66.21), 흰넓적다리붉은쥐(20.77), 다람쥐(9.62), 대륙발쥐(3.41), 간별7년차에서는 등줄쥐(54.81), 흰넓적다리붉은쥐(21.89), 대륙발쥐(14.20), 다람쥐(9.09) 순이며, 모든 처리구에서 등줄쥐가 우점하고 있었다(Table 5).

Table 4. Live-trapping results at control and three treatment sites (*Aa*: *Apodemus agrarius*, *Ap*: *Apodemus peninsulae*, *Mr*: *Myodes regulus*, *Ts*: *Tamias sibiricus*)

Species	Treatments				Total
	Control	1 year after thinning	3 years after thinning	7 years after thinning	
<i>Aa</i>	96 <sup>a</sup> (38, 58) <sup>b</sup>	89 (53, 36)	275 (124, 151)	159 (60, 99)	619 (275, 344)
<i>Ap</i>	9 (6, 3)	86 (43, 43)	64 (39, 25)	41 (20, 21)	200 (108, 92)
<i>Mr</i>	5 (3, 2)	36 (29, 7)	7 (7, 0)	14 (14, 0)	62 (53, 9)
<i>Ts</i>	–	1 (1, 0)	21 (19, 2)	20 (12, 8)	42 (32, 10)
Total	110 (47, 63)	212 (126, 86)	367 (189, 178)	234 (106, 128)	923 (468, 455)

<sup>a</sup> No. of times that rodents were captured

<sup>b</sup> (No. of captured individuals, No. of recapture times)

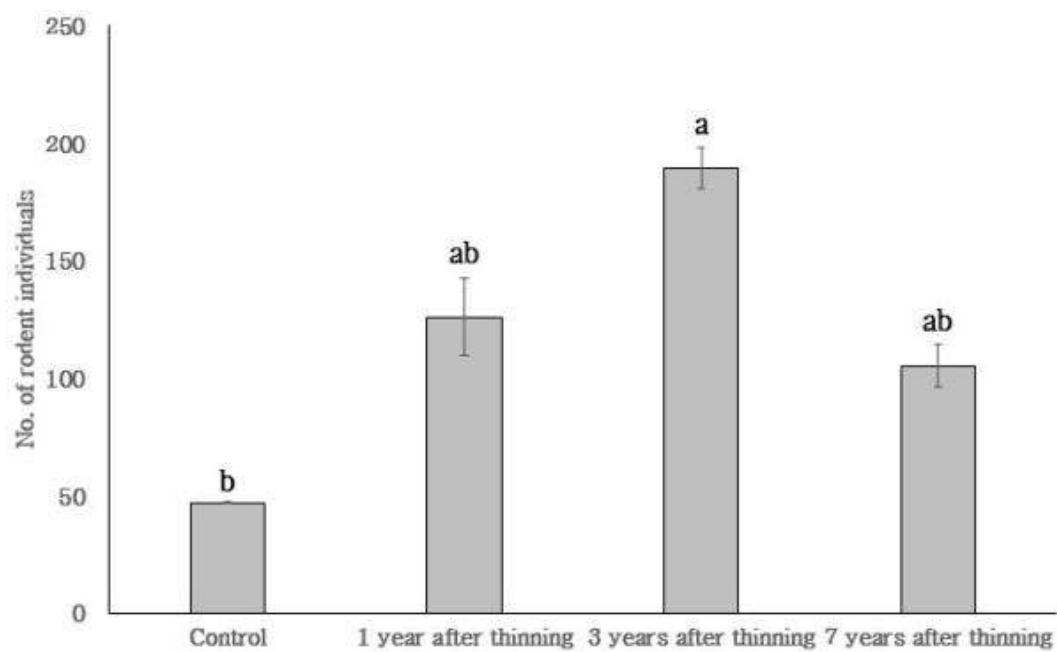


Figure 9. Comparison of the total number of trapped rodents between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

Table 5. Dominance index (DI) of each rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

Treatments			
Control	1 year after thinning	3 years after thinning	7 years after thinning
<i>Aa</i> (83.19) <sup>a</sup>	<i>Aa</i> (39.86)	<i>Aa</i> (66.21)	<i>Aa</i> (54.81)
<i>Ap</i> (10.56)	<i>Ap</i> (34.75)	<i>Ap</i> (20.77)	<i>Ap</i> (21.89)
<i>Mr</i> (6.25)	<i>Mr</i> (24.83)	<i>Ts</i> (9.62)	<i>Mr</i> (14.20)
	<i>Ts</i> (0.56)	<i>Mr</i> (3.41)	<i>Ts</i> (9.09)

<sup>a</sup> Dminance index (DI)

## 2.2. 처리별 설치류 포획 결과

처리구별 종별 포획률을 비교한 결과 모든 종이 처리구별로 유의한 차이를 보였다(Table 6). 등줄쥐의 포획률은 간벌3년차에서 가장 높았으며 대조구와 간벌1년차 처리구에서 낮았다( $\chi^2=20.52$ ,  $p<0.001$ ). 흰넓적다리붉은쥐는 간벌1, 3, 7년차 처리구에서 대조구에 비해 포획률이 높았으며( $\chi^2=34.66$ ,  $p<0.001$ ), 대륙밭쥐의 포획률은 간벌1년차 처리구에서 대조구와 간벌3년차에 비해 높았다( $\chi^2=14.69$ ,  $p=0.002$ ). 다람쥐는 간벌3, 7년차 처리구에서 대조구와 간벌1년차에 비해 높은 포획률을 보였다( $\chi^2=19.71$ ,  $p<0.001$ , Table 6).

평균 포획률의 순서는 등줄쥐는 간벌3년차, 간벌7년차, 대조구, 간벌1년차 순으로, 흰넓적다리붉은쥐는 간벌1년차, 간벌3년차, 간벌7년차, 대조구 순으로, 대륙밭쥐는 간벌1년차, 간벌7년차, 간벌3년차, 대조구 순으로 나타났으며, 다람쥐는 간벌3년차, 간벌7년차, 간벌1년차, 대조구 순으로 나타났다(Table 6).

Table 6. Capture rate (mean±SE) of each rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning). Different letters indicate significantly different value (p<0.05)

Species	Treatments				$\chi^2$	P
	Control	1 year after thinning	3 years after thinning	7 years after thinning		
<i>Aa</i>	<b>b</b> 8.89 ±1.40	<b>b</b> 8.24 ±1.22	<b>a</b> 25.46 ±3.52	<b>ab</b> 14.72 ±1.92	20.52	<0.001
<i>Ap</i>	<b>b</b> 0.83 ±0.30	<b>a</b> 7.96 ±1.14	<b>a</b> 5.93 ±1.31	<b>a</b> 3.80 ±0.67	34.66	<0.001
<i>Mr</i>	<b>b</b> 0.46 ±0.23	<b>a</b> 3.33 ±0.75	<b>b</b> 0.83 ±0.27	<b>ab</b> 1.30 ±0.39	14.69	0.002
<i>Ts</i>	<b>b</b> 0.00 ±0.00	<b>b</b> 0.09 ±0.09	<b>a</b> 1.94 ±0.60	<b>a</b> 1.85 ±0.62	19.71	<0.001



### 2.3. 처리 간 설치류 군집 구조 비교

처리 간 설치류 군집의 구조는 유의하게 다른 것으로 나타났다( $\chi^2=147.99$ ,  $p<0.001$ , Figure 10). 처리구별 군집 구성에서 등줄쥐는 모든 처리구에서 높은 비율을 보였으며, 흰넓적다리붉은쥐와 대륙발쥐는 간벌 1년차에서, 다람쥐는 간벌3, 7년차 처리구에서 상대적으로 높은 비율을 나타냈다.

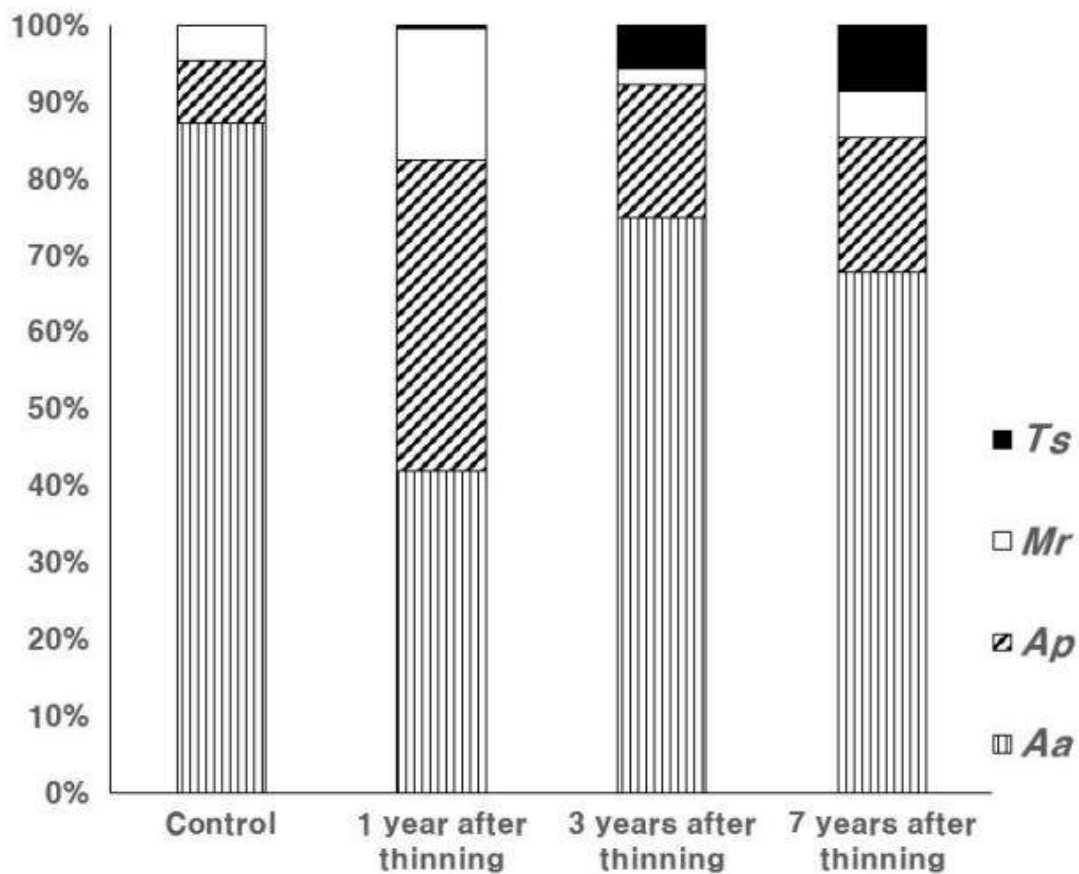


Figure 10. Proportions of rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

### 3. 설치류 종별 서식지 환경 변수 분석

설치류의 종별 주요 서식지 환경 변수를 비교해 보고자 서식지 환경 조사를 통해 얻은 서식지 변수 중 14개의 물리적 환경 변수와 설치류 종별 포획률 간에 정준상관분석을 실시하였다.

정준상관분석 그래프의 해석은 설치류 종간의 거리가 가까울수록 서로 유사한 서식지를 이용하며, 서식지 변수의 화살표가 길수록 더 큰 영향력을 가진다고 할 수 있다. 또한, 서식지 변수(화살표)간에는 각이 커질수록 연관성이 감소하며( $<90^\circ$ : 양의 상관관계,  $0^\circ$ : 관계없음,  $>90^\circ$ : 음의 상관관계), 종에서 서식지 변수 방향으로 수직으로 선을 그었을 때 중심점에서 멀리 떨어질수록 그 종과 강한 연관성을 가진 서식지 변수라고 할 수 있다(Legendre and Legendre 1998).

분석 결과, 종별로 서식하는 환경이 다른 것으로 나타났다(Figure 11). 등줄쥐(*Aa*)는 그래프의 중심에 가장 가까이 위치하였으며 높은 초본층 피도(HC), 암석피도(RC)와 높은 연관성을 보였다. 흰넓적다리붉은쥐(*Ap*)는 상층피도(TC, STC)가 높고 수목잔존물의 부피(VolCWD)가 많은 서식지와 높은 연관성을 보였으며, 대륙밭쥐(*Mr*) 또한 상층피도(TC, STC)가 높고 수목잔존물의 부피(VolCWD)가 많은 서식지와 높은 연관성을 나타냈다. 다람쥐(*Ts*)는 관목(SS)이 많고 관목층피도(SC)가 높으며, 낙엽층(LD)이 깊은 서식지와 높은 연관성을 보였다.

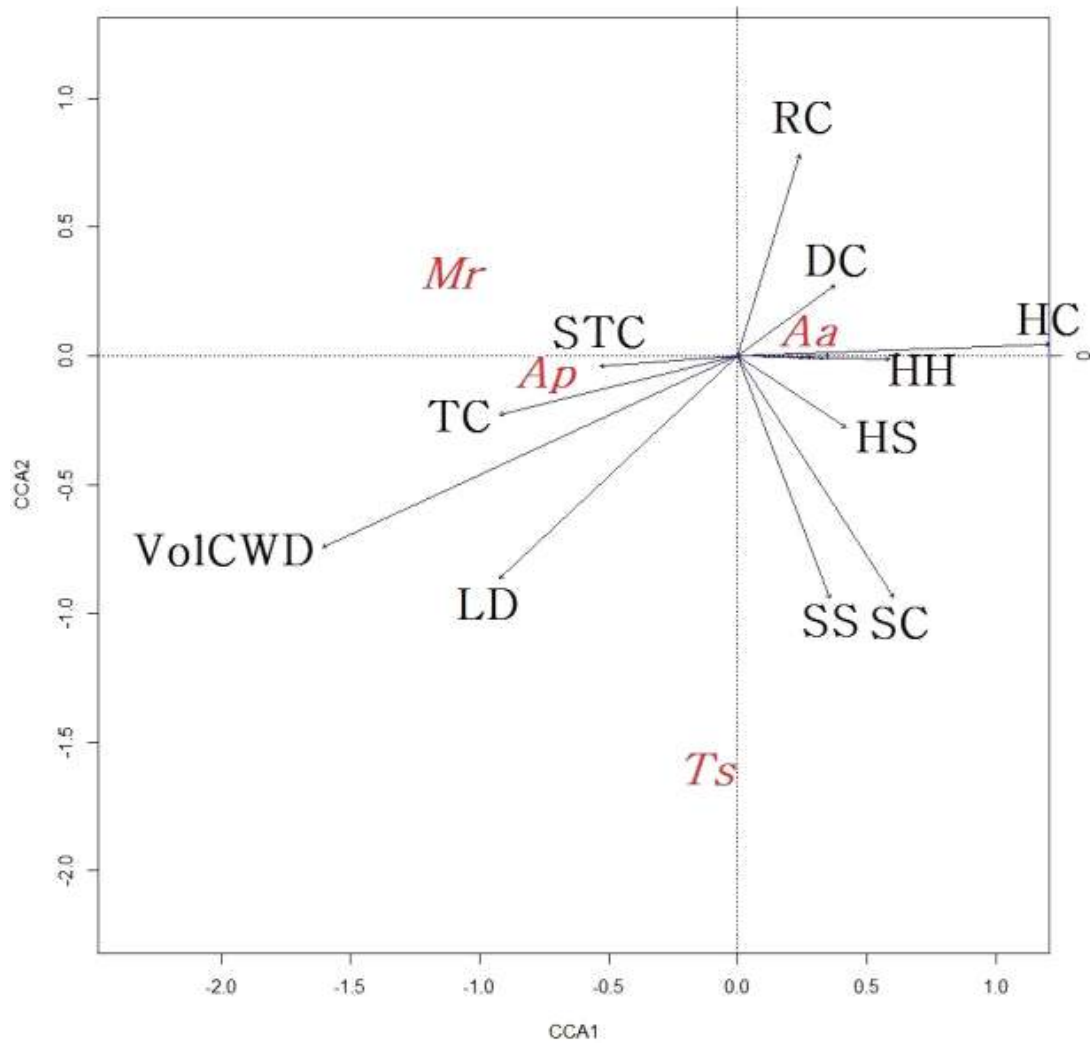


Figure 11. Canonical correspondence analysis ordination diagram of trapping rate of each rodent species and habitat variables (arrows). Abbreviations of rodent species and habitat variables, *Aa*: *Apodemus agrarius*, *Ap*: *Apodemus peninsulae*, *Mr*: *Myodes regulus*, *Ts*: *Tamias sibiricus*, TC: coverage of tree layer, STC: coverage of subtree layer, SC: coverage of shrub layer, HC: coverage of herbaceous plant layer, RC: coverage of rock, SS: shrub stems, SH: shrub height, HS: herbaceous plant stems, HH: herbaceous plant height, TBA: tree basal area, TH: tree height, VolCWD: volume of CWD, DC: decay class of CWD, LD: litter layer depth

## V. 고찰

### 1. 간벌 후 시간 경과에 따른 서식지 구조 변화

대조구와 간벌1년차, 간벌3년차, 간벌7년차 처리구의 서식지 구조는 각각 다르게 나타났다. 교목의 경우 수관비율을 제외하고 다른 변수에 대해 통계적으로 유의차를 보이지 않았으나 교목 수와 흉고단면적, 수관면적은 대조구에서 가장 높았으며, 수고와 흉고직경은 가장 낮았다. 대조구는 간벌이 시행되지 않아 임분의 수목 밀도가 높기 때문에 흉고단면적과 수관면적이 가장 높게 나타났다(Chan et al. 2006, Harrington 2011). 반면에, 대조구의 수고와 흉고직경은 가장 낮았으며 이는 임목 간의 경쟁으로 인한 낮은 생장률 때문인 것으로 판단된다(Latham and Tappeiner 2002). 간벌1, 3, 7년차 처리구는 대조구에 비해 높은 흉고직경과 수고를 나타냈는데, 이는 낮아진 임분 밀도로 인해 빛과 수분, 양분에 대한 임목 간의 경쟁이 감소하여 교목의 생장이 촉진된 결과로 판단된다(Sullivan et al. 2001). 수관비율은 간벌3년차에서 대조구, 간벌1년차 처리구에 비해 높았으며 간벌 이후 임분 밀도가 감소하고 광량이 증가함에 따라 가지의 생장이 증가하였을 것으로 생각된다(Varmola and Salminen 2004).

관목수와 함께 관목층피도는 간벌3년차 처리구에서 가장 높았다. 간벌과 함께 상층수관부의 일부가 제거되고 수관면적이 감소함으로써 산림 내부로 들어오는 광량이 증가하여 하층과 중층식생의 생육 환경이 개선되어 관목층 밀도와 피도가 높아진 것으로 볼 수 있다(Kabakoff and Chazdon 1996). 간벌7년차 처리구에서는 간벌3년차 처리구에 비해 낮은

관목수와 관목층피도, 높은 교목층피도를 보였다. 이는 간벌 이후 낮아진 수관층의 피도가 교목의 생장으로 다시 증가하면서 광량이 줄어들어 중층, 하층식생이 감소했기 때문인 것으로 판단된다(Williams et al. 1965, Gallo et al. 1985, Ottman and Welch 1989, Forcella et al. 1992). 국내의 일본잎갈나무 조림지에서 이루어진 연구(Son et al. 2004a, 2004b)에서도 광량지수와 관목밀도가 간벌 후 4년차에서 대조구와 간벌 후 7년차보다 높은 값을 보였다. 또한, 온대 침엽수림의 douglas-fir의 경우 간벌 후 감소한 수관피도는 3년 후 빠르게 증가하며 초본피도는 5년까지 증가 후 감소하는 것으로 나타났다(Chan et al. 2006). Sitka spruce와 western hemlock을 대상으로 한 연구에서는 하층식생의 피도는 간벌 후 4년까지 증가 후 감소하며 7년 후 간벌 전 수준에 이르게 된다고 하였다(Cole et al. 2010). 따라서 일본잎갈나무 조림지의 하층식생 밀도는 간벌 후 3~7년 사이에 가장 높을 것으로 판단되며, 자료의 연속성을 위해 추가적인 간벌 처리구 설정과 그에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

수목잔존물의 부피는 처리 간 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 수목잔존물의 수와 부피는 간벌1년차 처리구에서 가장 높았으며 간벌3, 7년차 처리구에서는 다소 낮았다. 부후 정도 또한 통계적 차이는 없었으나 간벌1년차 처리구에서 가장 낮았으며 간벌3, 7년차 처리구에서는 높았다. 간벌에 따른 수목잔존물의 변화에 관한 연구에서 간벌 후 부후 정도가 낮은 수목잔존물의 부피와 생물량이 증가하고 부후 정도가 높은 수목잔존물은 감소하는 것으로 나타났으며(Fraver et al. 2002), 수와 부피는 목재 부후로 인해 감소하는 양상을 보였다(Homyack et al. 2004). 따라서 간벌은 수목잔존물을 증가시키며 시간 경과에 따라 목재 부후가 진행되어 수목잔존물의 수와 부피는 감소하는 것으로 판단된다.

## 2. 간벌 후 시간 경과에 따른 설치류 군집 구조 변화

처리별 중 우점도와 포획률 비교, 정준상관분석을 통한 종별 서식지 환경을 통해 간벌 이후 설치류 군집구조의 변화를 파악하였다. 설치류 포획개체수는 대조구에 비해 간벌이 실시된 처리구에서 높은 값을 보였다. 이는 간벌 이후 설치류 풍부도에 관한 연구와 유사하게 나타났으며 (Christian et al. 1996, Garman 2001, Suzuki and Hayes 2003, Homyack et al. 2005), 간벌이 수관층을 개방시키고 중층, 하층식생의 구조적인 다양도를 증가시켜 광엽초본(forb)이나 풀씨(grass seed)와 같은 먹이원이 증가하였기 때문인 것으로 생각된다(Suzuki and Hayes 2003). 또한 수목잔존물의 증가로 설치류가 포식자로부터 회피할 수 있는 커버가 늘어났으며(Lee et al. 2008) 먹이원이 되는 절지동물(arthropod)의 증가(Suzuki and Hayes 2003)로 인해 간벌 후 설치류의 개체수가 증가한 것으로 판단된다. 향후 먹이원 조사와 개체군 내 임신 개체의 비율, 수컷 개체의 정소 크기 조사를 통한 번식 지표를 산출하여 비교할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

설치류 군집의 서식지 환경은 종별로 다르게 나타났다. 등줄쥐는 정준상관분석 결과(Figure 11), 중심에 가장 가까이 위치하며 높은 초본층, 암석피도와 높은 연관성을 보였다. 이는 등줄쥐는 종종 숲의 가장자리와 서식지 임연부, 농경지에까지 출현하는 서식지 일반종(habitat generalist)이며(Szacki and Liro 1991, Kaneko et al. 2008, Schlitter et al. 2008, Fischer and Schroder 2014), 하층식생이 풍부한 개활성의 환경을 선호하기 때문인 것으로 판단된다(Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a). 흰넓적다리붉은쥐는 상층피도(교목층, 아교목층피도)가 높고 수목잔존물의 부피가 많은 서식지와 높은 연관성을 보였다. 이는 흰넓적다리붉은쥐

는 산림성 설치류이며 수목잔존물이 많은 서식지를 이용하기 때문인 것으로 생각된다(Rhim and Lee 1999, Serizawa et al. 2002, Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a). 대륙밭쥐 또한 상층피도(교목층, 아교목층피도)가 높고 수목잔존물의 부피가 많은 서식지와 높은 연관성을 보였는데 이는 흰넓적다리붉은쥐와 마찬가지로 대륙밭쥐가 산림성 설치류이며 수목잔존물이 많은 서식지와 높은 연관성을 가지기 때문인 것으로 판단된다(Rhim and Lee 1999, Serizawa et al. 2002, Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a). 다람쥐는 관목이 많고 관목층피도가 높으며, 낙엽층이 깊은 서식지와 높은 연관성을 보였다. 이는 다람쥐가 관목의 밀도와 피도가 높은 서식지를 이용하기 때문인 것으로 생각된다(Hui and Ke 2013).

설치류 군집 구조는 대조구를 포함한 모든 간벌 처리구에서 다르게 나타났다. 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐는 상대적으로 간벌1년차 처리구에서 높은 우점도와 포획률, 군집 비율을 보였으며 등줄쥐는 낮은 우점도와 포획률, 군집 비율을 나타냈다. 이는 간벌 이후 수목잔존물의 증가로 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐의 서식지가 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 등줄쥐는 흰넓적다리붉은쥐와 같은 속으로 생태적 지위가 유사하며(이 2011), 등줄쥐는 흰넓적다리붉은쥐에 비해 체중(이 2011)과 구조적인 크기(윤 등 2004)가 크다고 알려져 있다. 동소적(sympatric) 지위를 가진 종 간에 몸집의 차이가 있을 경우 일방향성의 먹이갈취(unidirectional pilferage)가 일어난다(Penner and Devenport 2011, Zhang et al. 2014). 생태적 지위가 유사한 설치류 간의 경쟁에 관한 연구에 의하면 몸집이 큰 설치류는 작은 설치류의 먹이 저장고에서 종자를 훔치며 몸집이 작은 설치류는 이에 대응하기 위해 몸집이 큰 설치류가 있을 때 더 많은 종자를 모으거나 저장고에 숨기고 종자를 섭식하는 비율을 증가시킨다(Zhang et al. 2014). 또한, 작은 먹이 저장고 여러 개를

두어 피해 효과를 감소시키기도 한다(Zhang et al. 2014). 등줄쥐와 흰넓적다리붉은쥐 모두 군집 내 일정수준의 비율을 차지하는 것으로 보아 상호 배제(mutually exclusion)가 일어나지 않고 먹이에 대한 경쟁 속에서 공존하는 것으로 판단된다. 등줄쥐는 간벌1년차 비해 간벌3년차 처리구에서 상대적으로 군집 비율이 높았으며 우점도와 포획률 또한 높았다. 이는 하층피도의 증가로 인하여 등줄쥐가 선호하는 개활성의 서식지가 간벌3년차 처리구에서 조성되었기 때문인 것으로 판단된다. 반면에 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐의 군집 비율과 우점도, 포획률은 간벌3년차 처리구에서 상대적으로 낮았는데 이는 수목잔존물이 줄어들어 두 종의 서식지가 감소했기 때문인 것으로 생각된다. 다람쥐는 대조구, 간벌1년차에 비해 간벌3, 7년차 처리구에서 상대적으로 높은 비율을 보였으며 우점도와 포획률 또한 상대적으로 높았다. 이는 관목과 관목층피도의 증가로 인해 간벌3, 7년차 처리구에서 다람쥐의 서식환경이 조성되었기 때문인 것으로 판단된다. Suzuki and Hayes (2003)의 연구에서도 간벌 이후 임분의 하층 초본과 관목의 밀도가 증가하였고, 수관층피도는 감소하였다. 이러한 설치류의 서식지 구조 변화로 초본류의 먹이를 선호하는 종(e.g. *Microtus oregoni*, *Zapus trinotatus*)의 비율이 증가하였으며, 지하균근(hypogeous fungi)을 먹이로 선호하는 종(e.g. *Clethrionomys californicus*)의 비율은 감소하였다. 따라서 설치류의 종별 서식지 환경은 서식지 구조의 변화에 따라 설치류 군집 구조를 변화시키는 것으로 판단된다.



## VI. 결론

간벌의 시업연도가 다른 세 개의 처리구(간벌1년차, 간벌3년차, 간벌7년차)와 미간벌지에서 서식지 구조와 설치류 군집을 비교하고 설치류 군집 구조의 변화를 종별 서식지 환경의 차이를 통해 구명하고자 하였다. 본 연구를 통하여 도출한 결론은 다음과 같다.

1. 간벌 이후 일본잎갈나무 조림지에서 교목 밀도와 수관층 피도는 감소하고, 수목잔존물, 관목층, 초본층 식생의 양과 피도는 증가하였다.

2. 미간벌지인 대조구에서 가장 적은 수의 설치류가 포획되었으며, 각 처리구별로 종별 포획률은 유의한 차이가 나타났다.

3. 연구 대상지역의 서식지 환경과 종별 포획률을 비교하였을 때, 등줄쥐는 서식지 일반종으로 각 환경 변수에 대해 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았다. 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐는 상층피도가 높고 수목잔존물이 많은 환경에서 서식하며, 다람쥐는 관목밀도가 높고 낙엽층이 깊은 환경에서 서식하는 것으로 나타났다.

4. 일반종인 등줄쥐는 서식지의 질이 낮은 대조구를 포함한 모든 처리구에서 우점하였으나, 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐의 군집 내 비율은 수관층이 열리고 수목잔존물의 양이 늘어난 간벌 처리구에서 대조구에 비해 상대적으로 높았다. 다람쥐는 관목 밀도와 피도가 높아지는 간벌 3, 7년차 처리구에서 군집 내 비율이 상대적으로 높게 나타났다.

따라서, 본 연구 결과를 통해 일본잎갈나무 조림지에서 간벌 후 시간 경과에 따라 산림환경은 지속적으로 변화하고 이는 설치류 군집에 영향을 미치는 것으로 예상할 수 있다. 향후, 일본잎갈나무 조림지에서 간벌

이후 장기 모니터링을 통하여 산림환경과 설치류 군집의 변화에 대해 비교할 필요성이 있을 것으로 생각된다. 또한, 간벌과 개벌 등의 산림사업 시 설치류 및 야생동물의 다양성을 고려하여 수목잔존물의 존치와 중층, 하층식생의 생육 고려가 필요할 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

- 국립산림과학원. 2012. 국립산림과학원연구신서 제55호. 경제수종4. 낙엽송. 해든디자인플러스. 서울.
- 기상청 국가기후자료센터. 2015. 봉화기상관측소. [www.kma.go.kr](http://www.kma.go.kr).
- 김갑태, 김회진. 2013. 중왕산 몇 활엽수 종자의 야생동물에 의한 2차 분산. 한국환경생태학회지 27(1): 64-70.
- 김종봉, 이희영. 1990. 한국산 다람쥐 핵형의 비교연구 I. 일반염색과 C-Banding방법에 의한 한국산 청서(*Sciurus vulgaris corea*)와 다람쥐(*Tamias sibiricus asiaticus*)의 핵형분석. 한국동물학회지 33(2): 222-230.
- 김종봉, 이희영. 1994. 한국산 다람쥐 핵형의 비교연구 II. G-banding방법에 의한 한국산 청서(*Sciurus vulgaris coreae*)와 다람쥐(*Tamias sibiricus asiaticus*)의 핵형분석. 한국동물학회지 33(3): 255-259.
- 김진성. 2008. 한국산 다람쥐(*Tamias sibiricus barberi* Johnson & Jones 1955)의 계통분류학적 연구. 충북대학교 대학원 박사학위 논문. 청주.
- 백락주, 송진원, 박광숙, 최영주, 강주일, 이용주. 1997. 야생 설치류의 한타바이러스 감염에 대한 연구. 감염 29(6): 487-497.
- 영주국유림관리소. 2014. 장군봉 전문경영단지 운영 성과 보고서('13년). 남부지방산림청. 영주.
- 원병휘. 1967. 한국동식물도감 제 7권 동물편(포유류). 문교부. 서울.
- 원홍구. 1968. 조선집승류지. 과학원출판사. 평양.
- 윤명희, 한상훈, 오홍식, 김장근. 2004. 한국의 포유동물. 동방미디어. 서울.
- 윤명희, 한창욱. 2006. 등줄쥐(*Apodemus agrarius*)의 일중휴면에 관한 연구. 생명과학회지 16(4): 618-625.
- 이무영. 2009. 북유라시아의 하늘다람쥐, 청설모, 다람쥐의 계통지리 및 집단유전학적 구조. 서울대학교 대학원 박사학위 논문. 서울.

- 이영순, 김미경, 유병철. 1994. 한국산 다람쥐 간염 바이러스 감염에 관한 병리조직학적 연구. 대한소화기병학회지 26(6): 925-930.
- 이은재, 이우신, 이영근, 이명보, 임신재. 2008. 강원도 삼척 산불피해지역에서 피해목 처리 전과 후 서식환경과 설치류 개체군 특성 차이. 한국임학회지 97(1): 113-117.
- 이은재. 2011. 강원도 삼척 산불피해지역의 우점 설치류 3종의 생태적 특성에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위 논문. 서울.
- 이창배. 2004. 계방산 계곡부에 서식하고 있는 설치류 두 종의 미세서식지 이용 및 니체 패턴에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문. 서울.
- 임신재. 1997. 서식지 구조에 따른 번식기 조류 군집과 소형 포유류 개체군 변화에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문. 서울.
- 임신재, 이주영, 김민지, 박성진, 이은재, 이우신. 2007. 임도 미개설지와 개설지에서 소형 설치류의 차이. 한국환경생태학회 학술발표논문집 2007(1): 105-108.
- 정순정. 1996. 한국산 등줄쥐 *Apodemus agrarius coreae*의 번식에 관한 연구. 경성대학교 대학원 석사학위 논문. 부산.
- 정희석. 2005. 목재용어사전. 서울대학교 출판부. 서울.
- 함의정. 2007. 한국 다람쥐(*Tamias sibiricus barberi*)의 유전적 특색. 충북대학교 대학원 석사학위 논문. 청주.
- Abaturov, B. 1972. Role of burrowing animals in the transport of mineral substances in the soil. Pedobiologia.
- AgroAtlas. 2003. Pests. *Apodemus agrarius* Pallas - black-striped field mouse, Retrieved Nov 28 2015 from [http://www.agroatlas.ru/en/content/pests/Apodemus\\_agrarius/](http://www.agroatlas.ru/en/content/pests/Apodemus_agrarius/).
- Anthony, R. G., E. D. Forsman, G. A. Green, G. Witmer and S. K. Nelson. 1987. Small mammal populations in riparian zones of different-aged coniferous forests. The Murrelet 68(3): 94-102.
- Baek, L. J., K. J. Song, J. W. Song, K. M. Chung, E. Y. Kho, K. S.

- Park and Y. J. Lee. 1998. Serological study on hantavirus infection of wild rodents captured in the mountains of Kangwon province in Korea. *Journal of the Korean Society of Virology* 28(3): 287–293.
- Baek, L. J., K. S. Kim, K. J. Song, E. Y. Go, K. M. Jung, K. S. Park, Y. J. Lee and J. W. Song. 1999. Seroepidemiological study on hantavirus infection of wild rodents captured in the mountainous areas of Korea. *Journal of the Korean Society of Virology* 29(1): 1–9.
- Baek, L. J., H. Kariwa, K. Lokugamage, K. Yoshimatsu, J. Arikawa, I. Takashima, J. I. Kang, S. S. Moon, S. Y. Chung, E. J. Kim, H. J. Kang, K. J. Song, T. A. Klein, R. Yanagihara and J. W. Song. 2006. Soochong virus: an antigenically and genetically distinct hantavirus isolated from *Apodemus peninsulae* in Korea. *Journal of medical virology* 78(2): 290–297.
- Bakker, E., H. Olff, M. Boekhoff, J. Gleichman and F. Berendse. 2004. Impact of herbivores on nitrogen cycling: contrasting effects of small and large species. *Oecologia* 138(1): 91–101.
- Bellinva, E.. 2004. A phylogenetic study of the genus *Apodemus* by sequencing the mitochondrial DNA control region. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 42(4): 289–297.
- Borremans, B., N. K. Hughes, J. Reijnders, V. Sluydts, A. A. Katakweba, L. S. Mulungu, C. A. Sabuni, R. H. Makundi and H. Leirs. 2014. Happily together forever: temporal variation in spatial patterns and complete lack of territoriality in a promiscuous rodent. *Population Ecology* 56(1): 109–118.
- Britton-Davidian, J., M. Vahdati, F. Benmehdi, P. Gros, V. Nance, H. Croset, S. Guerassimov and C. Triantaphyllidis. 1991. Genetic

- differentiation in four species of *Apodemus* from southern Europe: *A. sylvaticus*, *A. flavicollis*, *A. agrarius* and *A. mystacinus* (Muridae, Rodentia). *Zeitschrift für Säugetierkunde* 56(1): 25–33.
- Campbell, T. L., P. J. Lewis, M. L. Thies and J. K. Williams. 2012. A Geographic Information Systems (GIS) based analysis of modern south African rodent distributions, habitat use, and environmental tolerances. *Ecology and evolution* 2(11): 2881–2894.
- Chan, S. S., D. J. Larson, K. G. Maas-Hebner, W. H. Emmingham, S. R. Johnston and D. A. Mikowski. 2006. Overstory and understory development in thinned and underplanted Oregon Coast Range douglas-fir stands. *Canadian journal of forest research* 36(10): 2696–2711.
- Chernousova, N.. 2010. Population dynamics of small mammal species in urbanized areas. *Contemporary problems of ecology* 3(1): 108–113.
- Christian, D. P., M. Reuvers-House, J. M. Hanowski, G. J. Niemi, J. G. Blake and W. E. Berguson. 1996. Effects of mechanical strip thinning of aspen on small mammals and breeding birds in northern Minnesota, USA. *Canadian journal of forest research* 26(7): 1284–1294.
- Cole, E. C., T. A. Hanley and M. Newton. 2010. Influence of precommercial thinning on understory vegetation of young-growth sitka spruce forests in southeastern Alaska. *Canadian journal of forest research* 40(4): 619–628.
- Converse, S. J., W. M. Block and G. C. White. 2006. Small mammal population and habitat responses to forest thinning and prescribed fire. *Forest Ecology and Management* 228(1): 263–273.

- Coppeto, S. A., D. A. Kelt, D. H. Van Vuren, J. A. Wilson and S. Bigelow. 2006. Habitat associations of small mammals at two spatial scales in the northern Sierra Nevada. *Journal of Mammalogy* 87(2): 402–413.
- Dalmagro, A. D. and E. M. Vieira. 2005. Patterns of habitat utilization of small rodents in an area of Araucaria forest in southern Brazil. *Austral Ecology* 30(4): 353–362.
- Davis, D. E.. 1957. Observations on the abundance of Korean mice. *Journal of Mammalogy* 38(3): 374–377.
- Dueser, R. D. and H. H. Shugart Jr.. 1978. Microhabitats in a forest-floor small mammal fauna. *Ecology* 59(1): 89–98.
- Dunstone, N., L. Durbin, I. Wyllie, R. Freer, G. A. Jamett, M. Mazzolli and S. Rose. 2002. Spatial organization, ranging behaviour and habitat use of the kodkod (*Oncifelis guigna*) in southern Chile. *Journal of Zoology* 257(1): 1–11.
- Ecke, F., O. Löfgren and D. Sörlin. 2002. Population dynamics of small mammals in relation to forest age and structural habitat factors in northern Sweden. *Journal of Applied Ecology* 39(5): 781–792.
- Emsens, W. J., L. Suselbeek, B. T. Hirsch, R. Kays, A. J. Winkelhagen and P. A. Jansen. 2013. Effects of food availability on space and refuge use by a neotropical scatterhoarding rodent. *Biotropica* 45(1): 88–93.
- Enkhbold, N., S. Dazhao, N. Batsaikhan, D. Wang, D. Tseveendorj and B. Erdenetuya. 2015. Study on the distribution and habitat characteristics of Brandt's vole. *Mongolian Journal of Agricultural Sciences* 13(2): 88–95.
- Eo, S. H., S. J. Rhim, W. S. Lee and J. P. Carroll. 2011. Genetic diversity and population structure of the Korean field mouse

- (*Apodumus peninsulae*) in south Korea: from 17 previously and newly developed microsatellite markers. *Genes and Genomics* 33(4): 445–449.
- Filippucci, M. G., M. Macholan and J. R. Michaux. 2002. Genetic variation and evolution in the genus *Apodemus* (Muridae: Rodentia). *Biological Journal of the Linnean Society* 75(3): 395–419.
- Fischer, C. and B. Schroder. 2014. Predicting spatial and temporal habitat use of rodents in a highly intensive agricultural area. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 189: 145–153.
- Flavicollis, O. A. 2006. Spatial organization and home range of *Apodemus flavicollis* and *A. agrarius* on Mt. Avala, Serbia. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 52(1): 81–96.
- Forcella, F., M. E. Westgate and D. D. Warnes. 1992. Effect of row width on herbicide and cultivation requirements in row crops. *American Journal of Alternative Agriculture* 7(4): 161–167.
- Ford–Robertson, F. C.. 1971. Terminology of forest science, technology, practice, and products (ed. Helms, J. A.). The dictionary of forestry. Society of American Foresters, Bethesda, MD.
- Fraver, S., R. G. Wagner and M. Day. 2002. Dynamics of coarse woody debris following gap harvesting in the Acadian forest of central Maine, USA. *Canadian Journal of Forest Research* 32(12): 2094–2105.
- Fretwell, S. D. and H. L. Lucas Jr.. 1969. On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. *Acta biotheoretica* 19(1): 16–36.
- Fujimaki, Y. and T. Kuwahata. 1984. Study on wild Murid rodents in Hokkaido (ed. Ota, K.). Hokkaido University Press, Sapporo. pp.



- 47–76 (in Japanese summary).
- Fuller, A. K., D. J. Harrison and H. J. Lachowski. 2004. Stand scale effects of partial harvesting and clearcutting on small mammals and forest structure. *Forest Ecology and Management* 191(1): 373–386.
- Gallo, K. P., C. S. T. Daughtry and M. E. Bauer. 1985. Spectral estimation of absorbed photosynthetically active radiation in maize canopies. *Remote Sensing Environ* 7(3): 221–232.
- Garman, S. L. 2001. Response of ground-dwelling vertebrates to thinning young stands: the young stand thinning and diversity study. MS thesis. Oregon State University, Corvallis, OR.
- Garshelis, D. L.. 2000. Delusions in habitat evaluation: measuring use, selection, and importance. *Research techniques in animal ecology: controversies and consequences*. Columbia University Press, New York, NY. pp. 111–164.
- Gentry, J. B., E. P. Odum, M. Mason, V. Nabholz, S. Marshall and J. T. McGinnis. 1968. Effect of altitude and forest manipulation on relative abundance of small mammals. *Journal of Mammalogy* 49(3): 539–541.
- Gibb, H., J. P. Ball, T. Johansson, O. Atlegrim, J. Hjältén and K. Danell. 2005. Effects of management on coarse woody debris volume and composition in boreal forests in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20(3): 213–222.
- Gill, R., A. Johnson., A. Francis, K. Hiscocks and A. Peace. 1996. Changes in roe deer (*Capreolus capreolus* L.) population density in response to forest habitat succession. *Forest Ecology and Management* 88(1): 31–41.
- Gliwicz, J.. 1981. Competitive interactions within a forest rodent community in central Poland. *Oikos* 37(3): 353–362.

- Hamm, K. A. and L. V. Diller. 2009. Forest management effects on abundance of woodrats in northern California. *Northwestern Naturalist* 90(2): 97-106.
- Hayes, J. P., S. S. Chan, W. H. Emmingham, J. C. Tappeiner, L. D. Kellogg and J. D. Bailey. 1997. Wildlife response to thinning young forests in the Pacific Northwest. *Journal of Forestry* 95: 28-33.
- Harrington, T. B.. 2011. Overstory and understory relationships in longleaf pine plantations 14 years after thinning and woody control. *Canadian Journal of Forest Research* 41(12): 2301-2314.
- Harrison, J.. 1965. The effect of forest clearance on small mammals. *Proceedings of the conference on conservation of nature and natural resources in tropical southeast Asia*. Bangkok, Thailand. pp. 153-158.
- Holbrook, S. J.. 1979. Vegetational affinities, arboreal activity, and coexistence of three species of rodents. *Journal of Mammalogy* 60(3): 528-542.
- Hole, F. D.. 1981. Effects of animals on soil. *Geoderma* 25(1): 75-112.
- Homyack, J. A.. 2003. Effects of precommercial thinning on snowshoe hares, small mammals, and forest structure in northern Maine. MS thesis. West Virginia University. Citeseer, PA.
- Homyack, J. A., D. J. Harrison and W. B. Krohn. 2004. Structural differences between precommercially thinned and unthinned conifer stands. *Forest ecology and management* 194(1): 131-143.
- Homyack, J. A., D. J. Harrison and W. B. Krohn. 2005. Long-term effects of precommercial thinning on small mammals in northern Maine. *Forest Ecology and Management* 205(1): 43-57.
- Hui, Y. and R. Ke. 2013. Wintering habitat selection of Siberian chipmunk. *Chinese Journal of Wildlife* 3: 3.

- Hunter, M. L.. 1990. Wildlife, forests, and forestry: principles of managing forests for biological diversity. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Ishii, N.. 2005. Siberian chipmunk *Tamias sibiricus* (Laxmann, 1769) in a guide to the mammals of Japan, Reviseded (ed. Abe, H.). Tokai University Press, Hadano. pp. 121 (in Japanese and English summary).
- James, M. R.. 2011. Mammalogy Techniques Manual, 2nd edition. Lulu, Raleigh, NC.
- Jeon, M. G., J. Y. Kim and Y. C. Park. 2015. Phylogenetic analysis of the complete mitochondrial genome of the Korean field mouse *Apodemus peninsulae* (Rodentia, Murinae) from China. Mitochondrial DNA 26(0): 1-2.
- Jiang, J. F., W. Y. Zhang, K. Yao, X. M. Wu, S. Q. Zuo, L. Zhan, P. H. Zhang and W. C. Cao. 2007. A new hantaan-like virus in rodents (*Apodemus peninsulae*) from northeastern China. Virus research 130(1): 292-295.
- Jo, Y. S., H. Seomun and J. T. Baccus. 2014. Habitat and food utilization of the Siberian chipmunk, *Tamias sibiricus*, in Korea. Acta theriologica 59(4): 589-594.
- Jones, J. K. and A. A. Barber. 1957. Home ranges and populations of small mammals in central Korea. Journal of Mammalogy 38(3): 377-392.
- Jorgensen, E. E. and S. Demarais. 1999. Spatial scale dependence of rodent habitat use. Journal of Mammalogy 80(2): 421-429.
- Kabakoff, R. P. and R. L. Chazdon. 1996. Effects of canopy species dominance on understorey light availability in low-elevation secondary forest stands in Costa Rica. Journal of Tropical Ecology 12(6): 779-788.

- Kaneko, Y.. 1990. Identification and some morphological characters of *Clethrionomys rufocanus* and *Eothenomys regulus* from USSR, northeast China, and Korea in comparison with *C. rufocanus* from Finland. Journal of the Mammalogical Society of Japan 14(2): 129-148.
- Kaneko, Y.. 2005. Rodentia in a guide to the mammals of Japan, Reviseded (ed. Abe, H.). Tokai University Press, Hanado. pp. 115-146 (in Japanese and English summary).
- Kaneko, Y., B. Krystufek, I. Zagarondnyuk, V. Vohralík, N. Batsaikhan, D. Avirmedand and G. Sukhchuluun. 2008. *Apodemus agrarius*, IUCN 2012. IUCN redlist of threatened species, Version 2012. 2. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) (accessed 01. 12. 15).
- Kaneko, Y.. 2012. Horizontal and elevational distributions of *Apodemus peninsulae*, *A. draco* and *A. latronum*. Mammal Study 37(33): 183-204.
- Kang, J. H., S. H. Son, K. J. Kim, H. S. Hwang and S. J. Rhim. 2013. Characteristics of small mammal populations in thinned and clearcut stands in Japanese larch (*Larix leptolepis*) plantations. Forest Science and Technology 9(3): 151-155.
- Kawamichi, M.. 1980. Food, food hoarding and seasonal changes of Siberian chipmunk. Japanese Journal of Ecology 30: 211-220.
- Kawamichi, M.. 1989. Nest structure dynamics and seasonal use of nests by Siberian chipmunk (*Eutamias sibiricus*). Journal of Mammalogy 70(1): 44-57.
- Kawamichi, M.. 1996. Ecological factors affecting annual variation in commencement of hibernation in wild chipmunks (*Tamias sibiricus*). Journal of Mammalogy 77(3): 731-744.
- Kawamichi, M.. 2000. Chipmunk in Hibernation mammals (eds.

- Kawamichi, T., N. Kondo and T. Morita). University of Tokyo Press, Tokyo. pp. 143–161 (in Japanese summary).
- Kawamichi, T. and M. Kawamichi. 1993. Gestation period and litter size of Siberian chipmunk *Eutamias sibiricus lineatus* in Hokkaido, northern Japan. Journal of the Mammalogical Society of Japan 18(2): 105–109.
- Kawamichi, T.. 1996. The encyclopedia of animals in Japan. vol. 1. Mammals. Heibonsha Limited Publishers, Tokyo. pp. 156.
- Kent, M.. 2012. Vegetation description and data analysis: a practical approach, 2nd edition. Wiley–Blackwell, Chuchester.
- Kim, H. C., S. T. Chong, W. J. Sames, P. V. Nunn, S. P. Wolf, R. G. Robbins and T. A. Klein. 2010. Tick surveillance of small mammals captured in Gyeonggi and Gangwon Provinces, Republic of Korea, 2004–2008. Systematic and Applied Acarology 15: 100–108.
- Kim, H. R. and Park, Y. C. 2012. The complete mitochondrial genome of the Korean red-backed vole, *Myodes regulus* (Rodentia, Murinae) from Korea. Mitochondrial DNA 23(2): 148–150.
- Kirkland, Jr. G. L., H. W. Snoddy and T. L. Amsler. 1996. Impact of fire on small mammals and amphibians in a central Appalachian deciduous forest. The American Midland Naturalist 135(2): 253–260.
- Klempa, B., H. A. Schmidt, R. Ulrich, S. Kaluz, M. Labuda, H. Meisel, B. Hjelle and D. H. Krüger. 2003. Genetic interaction between distinct Dobrava hantavirus subtypes in *Apodemus agrarius* and *A. flavicollis* in nature. Journal of virology 77(1): 804–809.
- Klempa, B., M. Stanko, M. Labuda, R. Ulrich, H. Meisel and D. H. Krüger. 2005. Central European Dobrava hantavirus isolate from

- a striped field mouse (*Apodemus agrarius*). Journal of clinical microbiology 43(6): 2756-2763.
- Koh, H. S.. 1986. Systematic studies of Korean rodents: II. A chromosome analysis in Korean field mice, *Apodemus peninsulae peninsulae* Thomas (Muridae, Rodentia), from Mungyong, with the comparison of morphometric characters of these Korean field mice to sympatric striped field mice, *A. agrarius coreae* Thomas. Korean Journal of Systematic Zoology 2(1): 1-10.
- Koh, H. S.. 1988. Systematic studies of Korean rodents: IV. Morphometric and chromosomal analyses of two species of the genus *Apodemus* (Muridae). Korean Journal of Systematic Zoology 42: 103-120.
- Koh, H. S.. 1989. Systematic studies of Korean rodents. V. Morphometric and chromosomal analyses on island populations of striped field mice (*Apodemus agrarius coreae*) in southwestern coasts of the Korean peninsula. Animal Systematics, Evolution and Diversity 5(1): 1-12.
- Koh, H. S.. 1994. Systematic studies on Korean rodents. VIII. Analyses of morphometric characters, chromosomal karyotype, and mitochondrial DNA restriction fragments in Siberian chipmunks from Korea (*Tamias sibiricus barberi* Johnson and Jones), with the comparison of morphometric characters of Siberian chipmunks from Manchuria (*Tamias sibiricus orientalis* Bonhote). Korean Journal of Systematic Zoology 10(2): 231-243.
- Koh, H. S., W. J. Lee and T. D. Kocher. 2000. The genetic relationships of two subspecies of striped field mice, *Apodemus agrarius coreae* and *Apodemus agrarius chejuensis*. Heredity 85(1): 30-36.
- Koh, H. S., J. Wang, B. K. Lee, B. G. Yang, S. W. Heo, K. H. Jang

- and T. Y. Chun. 2009. A phylogroup of the Siberian chipmunk from Korea (*Tamias sibiricus barberi*) revealed from the mitochondrial DNA cytochrome b gene. *Biochemical genetics* 47(1): 1–7.
- Koh, H. S., B. K. Yang, B. K. Lee, K. H. Jang, D. Bazarsad and N. J. Park. 2010a. Genetic distinctness of the Korean red-backed vole (*Myodes regulus*) from Korea, revealed by the mitochondrial DNA control region. *Animal Systematics, Evolution and Diversity* 26(3): 183–186.
- Koh, H. S., M. Zhang, D. Bayarlkhangva, E. J. Ham, J. S. Kim, K. H. Jang and N. J. Park. 2010b. Concordant genetic distinctness of the phylogroup of the Siberian chipmunk from the Korean Peninsula (*Tamias sibiricus barberi*), reexamined with nuclear DNA c-myc gene exon 2 and mtDNA control region sequences. *Biochemical genetics* 48(7): 696–705.
- Koh, H. S., B. K. Yang, S. W. Heo, K. H. Jang and S. T. In. 2011. Genetic distinctiveness of the Korean red-backed vole (*Myodes regulus*) from Korea, revealed by mitochondrial cytochrome b gene sequences. *Biochemical genetics* 49(3): 153–160.
- Kruskal, W. H. and W. A. Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47(260): 583–621.
- Lacher, Jr. T. E. and C. J. Alho. 1989. Microhabitat use among small mammals in the Brazilian Pantanal. *Journal of Mammalogy* 70(2): 396–401.
- Latham, P. and J. Tappeiner. 2002. Response of old-growth conifers to reduction in stand density in western Oregon forests. *Tree Physiology* 22(2–3): 137–146.
- Lee, E. J., W. S. Lee and S. J. Rhim. 2008. Characteristics of small

- rodent populations in post-fire silvicultural management stands within pine forest. *Forest Ecology and Management* 255(5): 1418-1422.
- Lee, E. J., S. J. Rhim, S. H. Son and W. S. Lee. 2012a. Differences in small mammal and stand structures between unburned and burned pine stands subjected to two different post-fire silvicultural management practices. *Annales Zoologici ennici* 49(3): 129-138.
- Lee, E. J., S. J. Rhim and W. S. Lee. 2012b. Seasonal movements and home range sizes of Korean field mouse *Apodemus peninsulae* in unburned and post-fire pine planted stands within a pine forest. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 11(20): 3834-3839.
- Lee, H. W., P. W. Lee and K. M. Johnson. 1978. Isolation of the etiologic agent of Korean hemorrhagic fever. *Journal of infectious diseases* 137(3): 298-308.
- Lee, H. W., P. W. Lee, L. J. Baek, C. K. Song and I. W. Seong. 1981. Intraspecific transmission of hantaan virus, etiologic agent of Korean hemorrhagic fever, in the rodent *Apodemus agrarius*. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 30(5): 1106-1112.
- Lee, J. G., S. H. Gu, L. J. Baek, O. S. Shin, K. S. Park, H. C. Kim, T. A. Klein, R. Yanagihara and J. W. Song. 2014. Muju virus, harbored by *Myodes regulus* in Korea, might represent a genetic variant of Puumala virus, the prototype arvicolid rodent-borne hantavirus. *Viruses* 6(4): 1701-1714.
- Legendre P. and L. F. Legendre. 1998. *Numerical ecology*, 2nd edition. Elsevier Science B. V., Amsterdam.
- Li, H. J. and Z. B. Zhang. 2003. Effect of rodents on acorn dispersal



- and survival of the Liaodong oak (*Quercus liaotungensis* Koidz.). Forest Ecology and Management 176(1): 387–396.
- Li, H. J. and Z. B. Zhang. 2007. Effects of mast seeding and rodent abundance on seed predation and dispersal by rodents in *Prunus armeniaca* (Rosaceae). Forest Ecology and Management 242(2): 511–517.
- Lima, D. O., G. M. Pinho and F. A. Fernandez. 2016. Spatial patterns of the semi-aquatic rodent *Nectomys squamipes* in Atlantic forest streams. Journal of Natural History 50(7–8): 497–511.
- Liro, A. and J. Szacki. 1987. Movements of field mice *Apodemus agrarius* (Pallas) in a suburban mosaic of habitats. Oecologia 74(3): 438–440.
- Liu, X., F. Wei, M. Li, X. Jiang, Z. Feng and J. Hu. 2004. Molecular phylogeny and taxonomy of wood mice (genus *Apodemus* Kaup, 1829) based on complete mtDNA cytochrome b sequences, with emphasis on Chinese species. Molecular phylogenetics and evolution 33(1): 1–15.
- Lokugamage, K., H. Kariwa, D. Hayasaka, B. Z. Cui, T. Iwasaki, N. Lokugamage, L. I. Ivanov, V. I. Volkov, V. A. Demenev, R. Slonova, G. Kompanets, T. Kushnaryona, T. Kurata, K. Maeda, K. Araki, T. Mizutani, K. Yoshmatsu, J. Arikawa and I. Takashima. 2002. Genetic characterization of hantaviruses transmitted by the Korean field mouse (*Apodemus peninsulae*), Far East Russia. Emerging infectious diseases 8(8): 768–776.
- Lu, J. Q. and Z. B. Zhang. 2004. Effects of habitat and season on removal and hoarding of seeds of wild apricot (*Prunus armeniaca*) by small rodents. Acta Oecologica 26(3): 247–254.
- Lu, J. Q. and Z. B. Zhang. 2005. Food hoarding behaviour of large field mouse *Apodemus peninsulae*. Acta theriologica 50(1):

51–58.

- Maeda, M., B. Igarashi, and S. Mizushima. 1984. Study on wild murid rodents in Hokkaido (ed. Ota. K.). Hokkaido University Press, Sapporo. pp. 119–138 (in Japanese summary).
- Makova, K., J. Patton, E. Y. Krysanov, R. Chesser and R. Baker. 1998. Microsatellite markers in wood mouse and striped field mouse (genus *Apodemus*). *Molecular ecology* 7(2): 247–248.
- Marmet, J., B. Pisanu and J. L. Chapuis. 2009. Home range, range overlap, and site fidelity of introduced Siberian chipmunks in a suburban French forest. *European journal of wildlife research* 55(5): 497–504.
- Marmet, J., B. Pisanu and J. L. Chapuis. 2011. Natal dispersal of introduced Siberian chipmunks, *Tamias sibiricus*, in a suburban forest. *Journal of ethology* 29(1): 23–29.
- Marmet, J., B. Pisanu, J. L. Chapuis, G. Jacob and E. Baudry. 2012. Factors affecting male and female reproductive success in a chipmunk (*Tamias sibiricus*) with a scramble competition mating system. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 66(11): 1449–1457.
- Marshall, D. D. 1990. The effects of thinning on stand and tree growth in a young high site of Douglas–fir in western Oregon. Ph.D thesis. Oregon State University, Corvallis, OG.
- Marsot, M., M. Sigaud, J. Chapuis, E. Ferquel, M. Cornet and G. Vourch. 2011. Introduced Siberian chipmunks (*Tamias sibiricus barberi*) harbor more-diverse *Borrelia burgdorferi* sensu lato genospecies than native bank voles (*Myodes glareolus*). *Applied and environmental microbiology* 77(16): 5716–5721.
- Marsot, M., J. L. Chapuis, P. Gasqui, A. Dozières, S. Masségli, B. Pisanu, E. Ferquel and G. Vourc’h. 2013. Introduced Siberian chipmunks (*Tamias sibiricus barberi*) contribute more to Lyme

- borreliosis risk than native reservoir rodents. PLoSone 8(1): e55377.
- Masaki, M., C. Koshimoto, K. Tsuchiya, A. Nishiwaki and T. Morita. 2005. Body temperature profiles of the Korean field mouse *Apodemus peninsulae* during winter aggregation. Mammal Study 30(1): 33-40.
- Maser, C., J. M. Trappe and R. A. Nussbaum. 1978. Fungal-small mammal interrelationships with emphasis on Oregon coniferous forests. Ecology 59(4): 799-809.
- Maser, C., R. F. Tarrant, J. M. Trappe and J. F. Franklin. 1988. From the forest to the sea: a study of fallen trees, general technical report PNW-GTR-229, USDA, Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.
- McCay, T. S. and M. J. Komoroski. 2004. Demographic responses of shrews to removal of coarse woody debris in a managed pine forest. Forest Ecology and Management 189(1): 387-395.
- Meharg, A. A., R. F. Shore, M. C. French and D. Osborn. 1997. Dioxin and furan residues in wood mice (*Apodemus sylvaticus*) following a large scale polyvinylchloride (PVC) fire. Environmental Pollution 97(3): 213-220.
- Meliyo, J. L., B. H. Massawe, B. M. Msanya, D. N. Kimaro, P. Hieronimo, L. S. Mulungu, N. I. Kihupi, J. A. Deckers, H. Gulinck and H. Leirs. 2014. Landform and surface attributes for prediction of rodent burrows in the Western Usambara Mountains, Tanzania. Tanzania Journal of Health Research 16(3).
- Mengak, M. T. and D. C. Guynn. 2003. Small mammal microhabitat use on young loblolly pine regeneration areas. Forest Ecology and Management 173(1): 309-317.
- Michal, B. and Z. Rafal. 2014. Responses of small mammals to

- clear-cutting in temperate and boreal forests of Europe: a meta-analysis and review. *European Journal of Forest Research* 133(1): 1-11.
- Miklos, P. and D. Ziak. 2002. Microhabitat selection by three small mammal species in oak-elm forest. *Folia zoologica* 51(4): 275-288.
- Moore, J. E., A. B. McEuen, R. K. Swihart, T. A. Contreras and M. A. Steele. 2007. Determinants of seed removal distance by scatter-hoarding rodents in deciduous forests. *Ecology* 88(10): 2529-2540.
- Morris, D. W. 1988. Habitat-dependent population regulation and community structure. *Evolutionary Ecology* 2(3): 253-269.
- Musser, G. G. and M. D. Carleton. 2005. Superfamily Muroidea in mammal species of the world: A taxonomic and geographic reference, 3rd edition (eds. Wilson, D. E. and D. M. Reeder). Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Nakata, K.. 1998. Handbook for vole census methods and control, 2nd edition. Hokkaido Forest Conservation Association, Sapporo. pp. 71 (in Japanese summary).
- Nemirov, K., O. Vapalahti, A. Lundkvist, V. Vasilenko, I. Golovljova, A. Plyusnina, J. Niemimaa, J. Laakkonen, H. Henttonen, A. Vaheri and A. Plyusnin. 1999. Isolation and characterization of Dobrava hantavirus carried by the striped field mouse (*Apodemus agrarius*) in Estonia. *Journal of general virology* 80(2): 371-379.
- Nichols, J. D.. 1992. Capture-recapture models using marked animals to study population dynamics. *Bioscience* 42(2): 94-102.
- Nordyke, K. A. and S. W. Buskirk. 1991. Southern red-backed vole, *Clethrionomys gapperi*, populations in relation to stand

- succession and old-growth character in the central Rocky Mountains. *Canadian field-naturalist* 105(3): 330–334.
- O’Guinn, M. L., T. A. Klein, J. S. Lee, H. C. Kim, L. J. Baek, S. T. Chong, M. J. Turell, D. A. Burkett, A. Schuster, I. Y. Lee, S. H. Yi, W. J. Samse, K. J. Song and I. Y. Lee. 2008. Ecological surveillance of small mammals at firing points 10 and 60, Gyeonggi Province, Republic of Korea, 2001–2005. *Journal of Vector Ecology* 33(2): 370–384.
- Ohdachi, S. D., Y. Ishibashi, M. A. Iwasa and T. Saitoh. 2009. The wild mammals of Japan. Shoukadoh Book Sellers, Tokyo.
- Okulova, N., L. Khlyap, F. Bidashko, A. Warshavskiy, A. Grazhdanov and V. Neronov. 2014. Rodent communities of the western Kazakhstan oblast of the Republic of Kazakhstan. Message 1. Maps of rodent communities and zoogeographic regionalization. *Arid Ecosystems* 4(2): 75–84.
- Oliver, C. D. and B. C. Larson. 1990. Forest stand dynamics. McGraw-Hill, New York, NY.
- Oshida, T., R. Masuda and M. C. Yoshida. 1996. Phylogenetic relationships among Japanese species of the family Sciuridae (Mammalia, Rodentia), inferred from nucleotide sequences of mitochondrial 12S ribosomal RNA genes. *Zoological science* 13(4): 615–620.
- Ottman, M. J. and L. F. Welch. 1989. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in maize. *Agronomy Journal* 81(2): 167–174.
- Park, S. J., S. J. Rhim, E. J. Lee, W. S. Lee and C. C. Maguire. 2014. Home range, activity patterns, arboreality, and day refuges of the Korean wood mouse *Apodemus peninsulae* (Thomas, 1907) in a temperate forest in Korea. *Mammal Study* 39(4): 209–217.

- Pearson, D. E.. 2000. Small mammals of the Bitterroot National Forest: Ecological significance and guidelines for management. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-17.
- Penner, J. L. and L. D. Devenport. 2011. A comparative study of caching and pilfering behavior in two sympatric species, least chipmunks (*Tamias minimus*) and eastern chipmunks (*Tamias striatus*). Journal of Comparative Psychology 125(4): 375.
- Pisanu, B., M. Marsot, J. Marmet, J. L. Chapuis, D. Réale and G. Vourc'h. 2010. Introduced Siberian chipmunks are more heavily infested by ixodid ticks than are native bank voles in a suburban forest in France. International journal for parasitology 40(11): 1277-1283.
- Pisanu, B., E. Obolenskaya, E. Baudry, A. Lisovsky and J. L. Chapuis. 2013. Narrow phylogeographic origin of five introduced populations of the Siberian chipmunk *Tamias* (*Eutamias*) *sibiricus* (Laxmann, 1769) (Rodentia: Sciuridae) established in France. Biological invasions 15(6): 1201-1207.
- Prevedello, J. A., R. G. Rodrigues and de Araujo Monteiro-Filho, E. L. 2010. Habitat selection by two species of small mammals in the Atlantic Forest, Brazil: Comparing results from live trapping and spool-and-line tracking. Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde 75(2): 106-114.
- Ramirez, P. and M. Hornocker. 1981. Small mammal populations in different-aged clearcuts in northwestern Montana. Journal of Mammalogy 62(2): 400-403.
- Rhim, S. J. and W. S. Lee. 1999. Differences in small mammal populations due to different habitat structure in natural deciduous forest. Journal of Korean Forestry Society 88: 179-184.

- Rhim, S. J. and W. S. Lee. 2001a. The effect of dead wood and understory coverage on small rodent abundance in Korean forest. *Journal of Forestry Research* 12(4): 243–246.
- Rhim, S. J. and W. S. Lee. 2001b. Habitat preferences of small rodents in deciduous forests of north-eastern South Korea. *Mammal Study* 26(1): 1–8.
- Rosenzweig, M. L. 1981. A theory of habitat selection. *Ecology* 62(2): 327–335.
- Savage, V. M., J. Gillooly, W. Woodruff, G. West, A. Allen, B. Enquist and J. Brown. 2004. The predominance of quarter-power scaling in biology. *Functional Ecology* 18(2): 257–282.
- Schieck, J. and S. J. Song. 2006. Changes in bird communities throughout succession following fire and harvest in boreal forests of western North America: literature review and meta-analyses. *Canadian Journal of Forest Research* 36(5): 1299–1318.
- Schlitter, D., E. van der Straeten, G. Amori, R. Hutterer, B. Kryštofek, N. Yigit and G. Mitsin. 2008. *Apodemus sylvaticus*, IUCN 2012. IUCN redlist of threatened species, Version 2012. 2. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) (accessed 01. 12. 15).
- Schwarz, S. S., A. V. Pokrovski, V. G. Istchenko, V. G. Olenjev, N. A. Ovtschinnikova and O. A. Pjastolova. 1964. Bioluyical peculiarities of seasonal generations of rodents, with special reference to the problem of senescence in mammals. *Acta theriologica* 8(2): 11–43.
- Serizawa, K., H. Suzuki and K. Tsuchiya. 2000. A phylogenetic view on species radiation in *Apodemus* inferred from variation of nuclear and mitochondrial genes. *Biochemical genetics* 38(1–2): 27–40.

- Serizawa, K., H. Suzuki, M. A. Iwasa, K. Tsuchiya, M. V. Pavlenko, I. V. Kartavtseva, G. N. Chelomina, N. E. Dokuchaev and S. H. Han. 2002. A spatial aspect on mitochondrial DNA genealogy in *Apodemus peninsulae* from east Asia. *Biochemical genetics* 40(5): 149–161.
- Shiraishi, S. and A. Arai. 1980. 陸上動物調査 (2) 主に哺乳動物 in 尖閣諸島調査報告書, 學術調査編. Okinawa Development Agency, Tokyo. pp. 47–86 (in Japanese summary).
- Shorohova, E. V. and A. A. Shorohov. 2001. Coarse woody debris dynamics and stores in a boreal virgin spruce forest. *Ecological Bulletins* 49: 129–135.
- Sikorski, M. D. 1982. Non-metrical divergence of isolated populations of *Apodemus agrarius* in urban areas. *Acta theriologica* 27(13): 169–180.
- Simeonovska-Nikolova, D. M. 2007. Interspecific social interactions and behavioral responses of *Apodemus agrarius* and *Apodemus flavicollis* to conspecific and heterospecific odors. *Journal of ethology* 25(1): 41–48.
- Society of American Foresters. 1981. Choices in silviculture for American forests. Society of American Foresters. Bethesda, MD.
- Son, Y. W., Y. Y. Lee, R. H. Kim, K. W. Seo, J. Y. Ban, K. Y. Seo, J. W. Koo, J. H. Kyung and N. J. Noh. 2004a. Changes in understory vegetation of a thinned Japanese larch (*Larix leptolepis*) plantation in Yangpyeong, Korea. *The Korean Journal of Ecology* 27(6): 363–367.
- Son, Y. W., Y. Y. Lee, Y. C. Jun and Z. S. Kim. 2004b. Light availability and understory vegetation four years after thinning in a *Larix leptolepis* plantation of central Korea. *Journal of forest research* 9(2): 133–139.



- Song, K. J., L. J. Baek, S. Moon, S. J. Ha, S. H. Kim, K. S. Park, T. A. Klein, W. Sames, H. C. Kim, J. S. Lee, R. Yanagihara and J. W. Song. 2007. Muju virus, a novel hantavirus harboured by the arvicolid rodent *Myodes regulus* in Korea. *Journal of general virology* 88(11): 3121–3129.
- Song, J. W., S. S. Moon, S. H. Gu, K. J. Song, L. J. Baek, H. C. Kim, T. Kijek, M. L. O’Guinn, J. S. Lee, m. J. Turell and T. A. Klein. 2009. Hemorrhagic fever with renal syndrome in 4 US soldiers, South Korea, 2005. *Emerging infectious diseases* 15(11): 1833.
- Sullivan, T. P. and D. S. Sullivan. 1988. Influence of stand thinning on snowshoe hare population dynamics and feeding damage in lodgepole pine forest. *Journal of Applied Ecology* 25(3): 791–805.
- Sullivan, T. P. and D. S. Sullivan. 2001. Influence of variable retention harvests on forest ecosystems. II. Diversity and population dynamics of small mammals. *Journal of Applied Ecology* 38: 1234–1252.
- Sullivan, T. P., D. S. Sullivan and P. M. Lindgren. 2001. Stand structure and small mammals in young lodgepole pine forest: 10-year results after thinning. *Ecological Applications* 11(4): 1151–1173.
- Sullivan, T. P., D. S. Sullivan, P. M. Lindgren and D. B. Ransome. 2009. Stand structure and the abundance and diversity of plants and small mammals in natural and intensively managed forests. *Forest Ecology and Management* 258: S127–S141.
- Sullivan, T. P., D. S. Sullivan, P. M. Lindgren and D. B. Ransome. 2013. Stand structure and small mammals in intensively managed forests: scale, time, and testing extremes. *Forest Ecology and Management* 310: 1071–1087.

- Suselbeek, L., W. J. Emsens, B. T. Hirsch, R. Kays, J. M. Rowcliffe, V. Zamora-Gutierrez and P. A. Jansen. 2014. Food acquisition and predator avoidance in a Neotropical rodent. *Animal Behaviour* 88: 41–48.
- Suzuki, N. and J. P. Hayes. 2003. Effects of thinning on small mammals in Oregon coastal forests. *The Journal of wildlife management* 67(2): 352–371.
- Suzuki, H., J. J. Sato, K. Tsuchiya, J. Luo, Y. P. Zhang, Y. X. Wang and X. L. Jiang. 2003. Molecular phylogeny of wood mice (*Apodemus*, Muridae) in east Asia. *Biological Journal of the Linnean Society* 80(3): 469–481.
- Szacki, J. and A. Liro. 1991. Movements of small mammals in the heterogeneous landscape. *Landscape Ecology* 5(4): 219–224.
- Tevis, L.. 1956a. Invasion of a logged area by golden-mantled squirrels. *Journal of Mammalogy* 37(2): 291–292.
- Tevis, L.. 1956b. Responses of small mammal populations to logging of douglas-fir. *Journal of Mammalogy* 37(2): 189–196.
- Theodorsson-Norheim, E.. 1986. Kruskal-Wallis test: BASIC computer program to perform nonparametric one-way analysis of variance and multiple comparisons on ranks of several independent samples. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 23(1): 57–62.
- Thorington, R. W. Jr. and R. S. Hoffmann. 2005. Family Sciuridae in *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference*, 3rd edition (eds. Wilson, D. E. and D. M. Reeder). Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD. pp. 754–818.
- Toal, M. E., D. Copplestone, M. S. Johnson, D. Jackson and S. R. Jones. 2001. A dynamic compartmental food chain model of radiocaesium transfer to *Apodemus sylvaticus* in woodland

- ecosystems. Science of the total environment 267(1): 53-65.
- Tsuchiya, K.. 1985. Notes on wood mouse groups for laboratory animal. Association report of Kyushu branch. Japanese association of laboratory animals and technology 8: 4-12 (in Japanese summary).
- Valenzuela, D. and G. Ceballos. 2000. Habitat selection, home range, and activity of the white-nosed coati (*Nasua narica*) in a Mexican tropical dry forest. Journal of Mammalogy 81(3): 810-819.
- Varmola, M. and H. Salminen. 2004. Timing and intensity of precommercial thinning in *Pinus sylvestris* stands. Scandinavian Journal of Forest Research 19(2): 142-151.
- Wang, Y., C. Zhou, J. Zhang, Y. Zhou, J. Hu and Y. Xiong. 2004. Spatial niche of the rodents in summer in Tangjiahe nature reserve. Acta theriologica Sinica 25(1): 39-44.
- Wayman, R. B. and M. North. 2007. Initial response of a mixed-conifer understory plant community to burning and thinning restoration treatments. Forest Ecology and Management 239(1): 32-44.
- Whitaker, J. O. and W. J. Hamilton. 1998. Mammals of the eastern United States: Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Williams. W. A., R. S. Loomis and C. R. Lepley. 1965. Vegetative growth of maize as affected by population density, I. Productivity in relation to interception of solar radiation. Crop Science 5(3): 211-215.
- Wu-Pin, H.. 1958. On the changing tendencies of the rodent population in the recent cut-over land at dailing northeast China. Acta Zoologica Sinica 4: 13.
- Yahner, R. H.. 1986. Microhabitat use by small mammals in

- even-aged forest stands. *American Midland Naturalist* 115(1): 174–180.
- Yahner, R. H.. 2000. Eastern deciduous forest: ecology and wildlife conservation. 2nd edition. University of Minnesota Press, Minneapolis, MN.
- Yahner, R. H., C. G. Mahan, and A. D. Rodewald. 2012. Managing forests for wildlife. In the wildlife techniques manual: vol. 2 management (ed. Silvy, N. J.). The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Yang, Y. and X. Yi. 2011. Effectiveness of Korean pine (*Pinus koraiensis*) seed dispersal by small rodents in fragmented and primary forest. *Polish Journal of Ecology* 59(2): 413–422.
- Yang, Z. X. and Y. I. Zheng. 2003. Age estimation of population of *Apodemus agrarius* with body weight without viscera. *Journal of Mountain Agriculture and Biology* 22(5): 393–398.
- Yi, X., Y. Yang and Z. Zhang. 2011. Effect of seed availability on hoarding behaviors of Siberian chipmunk (*Tamias sibiricus*) in semi-natural enclosures. *mammalia* 75(4): 321–326.
- Yi, X., M. A. Steele and Z. Zhang. 2012. Acorn pericarp removal as a cache management strategy of the Siberian chipmunk, *Tamias sibiricus*. *Ethology* 118(1): 87–94.
- Yi, X., G. Liu, M. A. Steele, Z. Shen and C. Liu. 2013. Directed seed dispersal by a scatter-hoarding rodent: the effects of soil water content. *Animal Behaviour* 86(4): 851–857.
- Ylonen, H., H. J. Altner and M. Stubbe. 1991. Seasonal dynamics of small mammals in an isolated woodlot and its agricultural surroundings. *Annales Zoologici Fennici* 28(1): 7–14.
- Yoneda, M. and K. Nakata. 1984. Natural enemy in study on wild murid rodents in Hokkaido (ed. Ota, K.). Hokkaido University

- Press, Sapporo. pp. 159–185 (in Japanese summary).
- Youngman, P. M.. 1956. A population of the striped field mouse, *Apodemus agrarius coreae*, in central Korea. Journal of Mammalogy 37(1): 1–10.
- Zaixue, Y., Z. Yuanli, G. Shiping and J. Xing. 2007. Study on the seasonal population dynamics and prediction of *Apodemus agrarius*. Chinese Agricultural Science Bulletin 23(2): 193.
- Zhang, H., Y. Chen and Z. Zhang. 2008. Differences of dispersal fitness of large and small acorns of Liaodong oak (*Quercus liaotungensis*) before and after seed caching by small rodents in a warm temperate forest, China. Forest Ecology and Management 255(3): 1243–1250.
- Zhang, H. and Y. Wang. 2011. Differences in hoarding behavior between captive and wild sympatric rodent species. Current Zoology 57(6): 725–730.
- Zhang, Y. Z., Y. Zou, L. S. Yao, G. W. Hu, Z. S. Du, L. Z. Jin, Y. Y. Liu, H. X. Wang, X. Chen, H. X. Chen and Z. F. Fu. 2007. Isolation and characterization of hantavirus carried by *Apodemus peninsulae* in Jilin, China. Journal of general virology 88(4): 1295–1301.
- Zhang, H., H. Gao, Z. Yang, Z. Wang, Y. Luo and Z. Zhang. 2014. Effects of interspecific competition on food hoarding and pilferage in two sympatric rodents. Behaviour 151(11): 1579–1596.
- Zwolak, R.. 2009. A meta-analysis of the effects of wildfire, clearcutting, and partial harvest on the abundance of North American small mammals. Forest Ecology and Management 258(5): 539–545.

## Abstract

# Changes of rodent community and habitat structure with time elapse after thinning in Japanese larch (*Larix kaempferi*) plantations

Jeon, Jonghoon

Major in Forest Environmental Science

The Graduate School

Seoul National University

This study was conducted to investigate the change of rodent community structure and habitat structure following succession after thinning, with retrospective approach. Among the Japanese larch (*Larix kaempferi*) plantation stands at Janggun-bong area, Bonghwagun-county, Gyeong-buk province, each of three plots at unthinned control and treatment stands were selected in regard to different years past after thinning (1S: 1 year after thinning stand, 3S: 3 years after thinning stand, 7S: 7 years after thinning stand). I measured forest habitat variables of different vertical layers (tree,

subtree, shrub, and herbaceous plants) and other variables (leaf litter depth, coarse woody debris, and rock cover) at each survey plots in August to September 2015. Rodent community study, using live-trapping method was conducted during June and July 2015.

Thinned plantations had higher tree height and larger DBH (Diameter at breast) than unthinned control stand. 1S stand had the highest number and number of CWD (Coarse Woody Debris). Herbaceous plant and shrub density were the highest in 3S stand followed by 7S, 1S stands. This results reflect the understory growth of thinned stands were increased after thinning, when canopy cover has decreased (1S-3S), followed by the regrowth of tree crown and decrease of understory vegetation (7S). The mass of CWD did not differ between the thinned treatments, but the numbers decreased in older (3S, 7S) plots after thinning than recently thinned plots (1S). Four species and 468 individuals of small terrestrial rodents were trapped for 923 capture: *Apodemus agarius* (*Aa*), *Apodemus peninsulae* (*Ap*), *Myodes regulus* (*Mr*), and *Tamias sibiricus* (*Ts*). Total number of individual rodents were significantly higher in thinned treatment plots than unthinned control plot, possibly due to the increased cover and food availability in relation to the increased understory vegetation and CWD. There was significant difference in community structure between each treatment plots and control plots. *Aa* represented the highest proportion in all stands, *Ap* and *Mr* showed relatively higher proportion in 1S stand than others, while *Ts* only appeared in thinned plots, and increased as the number of years

after thinning increased. The relative abundance of each species were related to different habitat variables. Canonical correlation analyses (CCA) represented the relationship between habitat variables and rodent species. *Aa* showed the lowest relationship with most of the variables, but slightly associated with coverage of rock and herbaceous plants, *Ap* and *Mr* showed positive relationship with the volume of CWD and tree canopy coverage. The capture rate of *Ts* was highly related to the high number of shrub stems, and increased coverage of shrub layer and leaf litter depth. Such relationship may indicate habitat niche of each species; we suggest that *Aa* may be a habitat generalist, which can utilize broad range of forest habitats, *Ap* and *Mr* are specialized on CWD and high tree canopy coverage. *Ts* prefer habitat with high density shrubs and midstory cover. The vegetative change expected after years thinning may affect rodent community, by altering habitat structure and components in Japanese larch plantations in Korea. I suggest that when conducting and planning thinning and further other silvicultural practices, one should consider such unintended consequences influence on forest rodent community. Based on these results, thinning can act as a positive habitat management to the small terrestrial rodent species at Japanese larch plantations in Korea.

**keywords:** canonical correlation analysis, coarse woody debris,  
forest habitat structure, habitat niche, Japanese larch  
plantations, rodent, understory vegetation

**Student Number:** 2014-20037





## 저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

농학석사 학위논문

일본잎갈나무(*Larix kaempferi*)

조림지의 간벌 이후

시간 경과에 따른 서식지 구조와

설치류 군집구조 변화

Changes of rodent community and habitat  
structure with time elapse after thinning in  
Japanese larch (*Larix kaempferi*)  
plantations

2016년 2월

서울대학교 대학원

산림과학부 산림환경학전공

전 중 훈

일본잎갈나무(*Larix kaempferi*)

조림지의 간벌 이후

시간 경과에 따른 서식지 구조와

설치류 군집구조 변화

Changes of rodent community and habitat  
structure with time elapse after thinning in  
Japanese larch (*Larix kaempferi*)  
plantations

지도교수 이 우 신

이 논문을 농학석사 학위논문으로 제출함  
2016년 2월

서울대학교 대학원

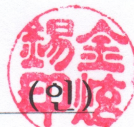
산림과학부 산림환경학전공

전 종 훈

전종훈의 농학석사 학위논문을 인준함  
2016년 2월

위 원 장

金 炫 錫



부위원장

李 宇 新



위 원

任 信 在



## 초 록

본 연구는 경북 봉화군 장군봉지역의 일본잎갈나무(*Larix kaempferi*) 조림지에서 간벌 후 시간 경과에 따른 서식지 구조와 설치류 군집 구조의 변화를 비교하기 위해 실시하였다. 1960~70년대 조림한 동령림에서 간벌1년차, 간벌3년차, 간벌7년차 조사구를 3개 선정하였고, 간벌을 실시하지 않은 대조구를 선정하여 후향적 연구(retrospective study)를 수행하였다. 서식지 환경 조사를 위해 서식지 구조에 해당하는 교목, 아교목, 관목, 초본, 수목잔존물에 대해 각 조사구 별로 매목조사를 실시하였다. 설치류는 생체포획법(live-trapping method)을 이용하여 포획하였다. 서식지 구조 조사 결과, 간벌을 실시한 처리구에서 대조구에 비해 교목의 수고와 흉고직경이 크게 나타났으며, 수목잔존물의 수는 간벌1년차 처리구에서 가장 많았다. 초본과 관목의 밀도는 간벌3년차 처리구에서 가장 높았으며, 간벌7년차 처리구가 그 뒤를 이었다. 이는 간벌 후 임분밀도의 감소로 수관층의 일부가 제거되어 광량이 증가하고 이로 인하여 중층과 하층식생의 밀도가 증가하였다가 열려있던 수관층이 닫히면서 다시 감소하는 것으로 이해할 수 있다. 등줄쥐와 흰넓적다리붉은쥐, 대륙밭쥐, 다람쥐가 포획되었으며, 4종 468개체가 923회에 걸쳐서 포획되었다. 설치류 군집의 개체수는 대조구보다 간벌을 실시한 처리구에서 많았다. 이는 간벌 후 하층식생과 수목잔존물이 증가하여 설치류의 가용 커버가 늘어났기 때문에 설치류의 개체수가 증가한 것으로 판단된다. 설치류 4종의 서식지 환경은 종별로 다르게 나타났다. 정준상관분석 결과, 등줄쥐는 서식지 변수와의 상관관계가 가장 낮았으나 초본 및 암석피도가 높은 개활성의 환경에서 서식하며, 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐는 상층피도가 높고

수목잔존물의 부피가 많은 환경에서 서식하였다. 또한, 다람쥐는 중층피도가 높고 토양의 낙엽층이 깊은 환경에서 주로 서식하는 것으로 나타났다. 처리구별 설치류 군집 구조에서 등줄쥐는 모든 처리구에서 높은 비율을 보였으며 간벌1년차에서 다소 낮았다. 흰넓적다리붉은쥐와 대륙발쥐는 상대적으로 간벌1년차에서 높은 비율을 나타냈다. 이는 간벌1년차 처리구에서 간벌 이후 수목잔존물의 증가로 흰넓적다리붉은쥐와 대륙발쥐의 서식환경이 조성되어 두 종의 비율이 증가하고, 등줄쥐의 비율은 흰넓적다리붉은쥐와 대륙발쥐의 증가로 인해 상대적으로 감소한 것으로 생각된다. 그리고 간벌3년차 처리구에서는 교목층피도가 낮고 하층피도가 높은 개활성의 서식지가 형성되어 등줄쥐의 비율이 증가한 것으로 판단된다. 다람쥐는 간벌3, 7년차 처리구에서 상대적으로 높은 비율을 보였으며 이는 간벌 후 관목이 증가하여 다람쥐의 서식 환경이 조성되었기 때문인 것으로 생각된다. 각 설치류 종은 각자 다른 서식지 변수에 대한 선호도를 가지고 있으며, 이에 따라 간벌 이후 발생하는 서식지 구조의 변화에 대해 종별로 다르게 반응하는 것으로 판단된다. 본 후향적 연구를 통해 간벌 후 시간 경과에 따른 서식지 구조와 설치류 군집 구조의 변화를 예상할 수 있었으며, 이를 기반으로 수목잔존물의 존치와 중층, 하층식생의 유도과 같이 야생동물 서식을 고려한 산림관리가 필요한 것으로 생각된다.

**주요어:** 서식지 구조, 서식지 환경, 설치류, 수목잔존물,

일본잎갈나무 조림지, 정준상관분석, 하층식생

**학 번:** 2014-20037

# 목 차

I. 서론 .....	1
II. 연구사 .....	3
1. 간벌에 따른 산림환경의 변화 .....	3
2. 설치류 군집의 서식지 이용 .....	5
3. 산림시업에 따른 설치류 군집의 변화 .....	7
4. 연구 대상종 .....	9
III. 재료 및 방법 .....	15
1. 연구 대상지 .....	15
2. 연구 방법 .....	19
2.1. 서식지 구조 조사 .....	19
2.2. 설치류 포획 조사 .....	24
2.3. 통계 분석 .....	25
IV. 결과 .....	27
1. 처리 간 서식지 구조 비교 .....	27
1.1. 처리 간 서식지 구조 분석 .....	27
2. 처리 간 설치류 군집 비교 .....	38
2.1. 전체 설치류 포획 결과 .....	38
2.2. 처리별 설치류 포획 결과 .....	42
2.3. 처리 간 설치류 군집 구조 비교 .....	44
3. 설치류 종별 서식지 환경 변수 분석 .....	45
V. 고찰 .....	47
1. 간벌 후 시간 경과에 따른 서식지 구조 변화 .....	47
2. 간벌 후 시간 경과에 따른 설치류 군집 구조 변화 .....	49
VI. 결론 .....	52
인용문헌 .....	54
Abstract .....	81

## List of tables

Table 1. Geographical and ecological information of the study area .....	18
Table 2. Descriptions of habitat variables measured in this study .....	22
Table 3. Habitat variables (mean±SE) of control and treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	29
Table 4. Live-trapping results at control and three treatment sites ( <i>Aa</i> : <i>Apodemus agrarius</i> , <i>Ap</i> : <i>Apodemus peninsulae</i> , <i>Mr</i> : <i>Myodes regulus</i> , <i>Ts</i> : <i>Tamias sibiricus</i> ) .....	39
Table 5. Dominance index (DI) of each rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	41
Table 6. Capture rate (mean±SE) of each rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning). Different letters indicate significantly different value ( $p<0.05$ ) .....	43

## List of figures

- Figure 1. Location of study area on Mt. Janggun, Bonghwa, Gyeongsangbuk Province, Korea (●: Control, ■: 1 year after thinning treatment, ▲: 3 years after thinning treatment, ◆: 7 years after thinning treatment) ..... 17
- Figure 2. Scheme of vegetation sampling plot in this study (left: trees (gray square, 20×20m), right: shrubs (gray square, 5×5m), herbaceous plants (black square, 1×1m)) ..... 21
- Figure 3. Comparison of tree crown ratio (%) between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) ..... 32
- Figure 4. Comparison of number of shrub stems between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) ..... 33
- Figure 5. Comparison of coverage of shrub layer between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) ..... 34
- Figure 6. Comparison of coverage of tree layer between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) ..... 35



Figure 7. Comparison of number of CWD pieces between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	36
Figure 8. Comparison of coverage of rock between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	37
Figure 9. Comparison of the total number of trapped rodents between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	40
Figure 10. Proportions of rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning) .....	44
Figure 11. Canonical correspondence analysis ordination diagram of trapping rate of each rodent species and habitat variables (arrows). Abbreviations of rodent species and habitat variables, <i>Aa</i> : <i>Apodemus agrarius</i> , <i>Ap</i> : <i>Apodemus peninsulae</i> , <i>Mr</i> : <i>Myodes regulus</i> , <i>Ts</i> : <i>Tamias sibiricus</i> , TC: coverage of tree layer, STC: coverage of subtree layer, SC: coverage of shrub layer, HC: coverage of herbaceous plant layer, RC: coverage of rock, SS: shrub stems, SH: shrub height, HS: herbaceous plant stems, HH: herbaceous plant height, TBA: tree basal area, TH: tree height, VolCWD: volume of CWD, DC: decay class of CWD, LD: litter layer depth .....	46

# I. 서론

간벌은 퇴행천이(setting back succession)를 일으키는 대표적인 교란으로 간벌 이후 열려있던 수관층이 다시 닫히고, 증가한 하층식생이 감소하는 등 산림환경의 점진적인 변화를 야기한다(Pearson 2000, Suzuki and Hayes 2003). 이러한 산림의 상층, 하층구조의 변화는 그 공간에 서식하고 있는 설치류(Yahner 1986, Nordyke and Buskirk 1991, Mengak and Guynn 2003, Homyack et al. 2005), 침서류(Yahner 1986, Mengak and Guynn 2003), 토끼류(Sullivan and Sullivan 1988, Homyack 2003), 우제류(Gill et al. 1996), 조류(Schieck and Song 2006) 등 야생동물 군집에 영향을 미치게 된다.

특히, 산림생태계 내 척추동물 중에서 가장 큰 부분을 차지하고 있는 설치류는 산림생태계내의 1, 2차소비자 역할을 할뿐만 아니라, 종자(Li and Zhang 2003, Moore et al. 2007, Li and Zhang 2007)와 균근 곰팡이(Maser et al. 1978)를 산포하는 중요한 구성요소이다. 또한, 굴을 파는 습성으로 인해 토양에 공기를 통하게 하여 토지를 비옥하게 하고(Abaturov 1972, Hole 1981, Bakker et al. 2004), 수많은 척추동물 포식자에게 주된 먹이원이 된다(Whitaker and Hamilton 1998). 그리고 설치류는 생활사가 짧고 번식률이 높아 환경변화에 민감하여 교란에 대한 반응연구에 많이 이용되었다(Takeo Kawamichi 1996).

일본잎갈나무(*Larix kaempferi*)는 1960~70년대 산림녹화기간과 맞물려 국내에서 가장 조림이 많이 이루어진 침엽수종 중에 하나이며 산림녹화에 크게 기여한 대표적인 속성수이다. 1960년 이후 누적된 일본잎갈나무의 조림면적은 약 70만ha에 달하며, 현재에는 전체 산림면적의

6.6%(2010년 기준 424,668ha)를 차지할 만큼 리기다소나무(2010년 기준 386,991ha)와 함께 우리나라의 대표 조림수종이라고 할 수 있다(국립산림과학원 2012). 당시 조림했던 일본잎갈나무의 대부분이 4~5영급에 진입하면서 현재에는 간벌이 활발히 진행되고 있는 중이다. 따라서 일본잎갈나무 조림지 관리의 필요성은 증가할 것 보이며 산림생태계의 건강성을 향상시키기 위해 간벌 이후 시간 경과에 따른 산림환경과 설치류 군집의 변화 연구가 필요하다.

본 연구에서는 1. 간벌 후 수목잔존물과 하층식생의 증가는 설치류 군집의 풍부도를 증가시킬 것이며, 2. 종별 서식지 환경의 차이로 인해 간벌 후 시간 경과에 따라 설치류 군집 구조가 변화할 것이라는 가설을 세웠으며, 간벌시기가 다른 처리구(간벌1년차, 간벌3년차, 간벌7년차)를 선정하여 후향적 연구(retrospective study)를 수행하였다. 본 연구의 목적은 일본잎갈나무 조림지에서 간벌 이후 시간 경과에 따른 서식지환경의 변화와 설치류 군집의 변화를 비교하여, 일본잎갈나무 조림지에서 간벌이 소형설치류 군집의 구조에 미치는 영향에 대해 고찰하는 것이다.

## II. 연구사

### 1. 간벌에 따른 산림환경의 변화

산림관리 방안 중 하나인 간벌은 산림조성 시기부터 주벌 사이에 이루어지는 여러 종류의 임목 채취를 일컫는다(정 2005). 조림지에서의 간벌은 주로 직경생장의 촉진과 임목의 수형을 평준화하기 위해 미성숙 임목 또는 임분에서 실시하는 벌목이다(정 2005). 또한, 간벌은 임분밀도의 조절을 통해 임목간의 경쟁을 감소시켜 개체목의 건강성을 증진시킨다(Ford-Robertson 1971). 간벌 후 증가한 광량은 임분 내 산림하층의 초본과 관목층의 식생을 발달시키고(Marshall 1990, Hayes et al. 1997, Sullivan et al. 2001) 가지의 생장을 증가시켜 수관비율이 증가하는(Varmola and Salminen 2004) 등 동령림의 수직적 구조를 변화시킨다(Hunter 1990, Oliver and Larson 1990).

Cole et al. (2010)의 침엽수(sitka spruce, *Picea sitchensis*; western hemlock, *Tsuga heterophylla*)림의 간벌이 하층식생에 미치는 영향에 관한 연구에서는 간벌 후 줄어드는 수관피도는 7년 동안 66%가량 회복되며 하층식생의 피도(광엽초본, 관목층피도)는 2~4년 동안 증가한 후 감소하여 간벌 7년차에 접어들어 간벌 전의 수준에 이르게 된다고 하였다. Chan et al. (2006)의 침엽수(douglas-fir; *Pseudotsuga menziesii*)림의 간벌과 하부식재(underplanting)에 의한 상층과 하층구조의 발달에 관한 연구에서는 간벌 이후 교목의 흉고직경과 수관비율이 증가하며, 증가한 수관피도는 3년 후 빠르게 감소하였다. 하층식생의 경우, 관목피도는 8년까지 점진적으로 증가하며 초본피도는 5년까지 증가 후 감소하는 것으로

나타났다. 또한, 하부식재(douglas-fir, western hemlock)가 처리된 간벌지에서는 묘목의 생존률이 88%인 것에 반해, 미간벌지의 경우 내음성(shade-tolerance) 수준인 western hemlock만이 생존하였으며 생존률은 13%에 불과하였다. 이러한 결과로 임분의 다층적구조의 발달을 위해서는 간벌과 하부식재가 필요하다고 제안하였다. 국내에서 이루어진 Son et al. (2004a, 2004b)의 일본잎갈나무 조림지의 간벌에 따른 하층식생의 변화에 관한 연구에서는 광합성유효방사(PAR, photosynthetically active radiation)값과 관목밀도는 간벌 후 7년차 처리구에서 4년차 처리구보다 낮은 값을 보여 시간 경과에 따른 수관피도의 회복을 나타냈다.

일반적으로 간벌은 교목의 흉고직경과 수관비율을 증가시키고 하층식생을 발달시키는 등 임분 내 수직적인 구조에 변화를 가져온다. 그러나 간벌에 의한 이러한 변화의 양상과 정도는 지역과 수종, 간벌의 강도에 따라 다르게 나타나므로 조림지에서는 간벌에 소요되는 비용에 대해 경제적인 효과를 최대화하기 위한 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

## 2. 설치류 군집의 서식지 이용

포유류의 서식지 이용에 관한 연구는 대상종의 분포와 풍부도(abundance)를 이해하는데 있어서 필수적인 부분이다(Prevedello et al. 2010). 각 종은 이용 가능한 자원의 유무에 따라 서식지를 선택적으로 이용한다(Garshelis 2000). 또한, 서식지 이용은 자원의 유무 뿐만 아니라 동종(conspecific)간, 이종(interspecific)간의 상호작용에 영향을 받는다(Fretwell and Lucas 1969, Rosenzweig 1981, Morris 1988).

서식지 선택은 먹이자원의 이용, 포식자에 대한 반응, 은신처 이용, 번식행위과 같은 활동을 기반으로 이루어진다(Holbrook 1979, Garshelis 2000). 소형 포유류의 서식지 선택에 대한 연구는 일반적으로 포획조사와 함께 포획정점에서의 환경인자 조사를 통한 포획밀도와 환경인자와의 연관성 분석을 통해 이루어졌다(e.g. Dueser and Shugart 1978, Lacher and Alho 1989, Jorgensen and Demarais 1999, Coppeto et al. 2006). 2000년대에 들어 중·대형 포유류의 무선추적(radio-tracking)을 통한 연구가 활발히 이루어지면서 개체들의 서식지 이용과 선택에 대해 보다 자세한 결과를 얻을 수 있게 되었다(e.g. Valenzuela and Ceballos 2000, Dunstone et al. 2002). 따라서 최근에는 무선추적자료의 분석(e.g. Emsens et al. 2013, Borremans et al. 2014, Suselbeek et al. 2014, Lima et al. 2016)이나 GIS(geographic information system) 분석(e.g. Campbell et al. 2012, Okulova et al. 2014, Meliyo et al. 2014, Enkhbold et al. 2015) 등 다양한 방법을 통해 설치류의 서식지 이용 및 선택에 대한 연구가 진행되고 있다.

국내에서 설치류의 서식지 이용 및 선택에 관한 연구는 1990년대 이후부터 본격적으로 시작되었다. 서식지 구조에 따른 설치류 개체군 변화

연구(임 1997), 간벌과 개벌에 따른 설치류 개체군 변화 연구(Rhim and Lee 2001a, Kang et al. 2013), 산불 후 관리방법에 따른 설치류 개체군 변화 연구(Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a) 등을 통해 각 종의 서식지 이용 패턴을 파악하고 서식지 관리 방안을 제시하고자 하였다. 또한 최근 무선추적을 이용하여 우점 설치류 3종의 잠자리 선호 환경에 대한 연구(이 2011)가 이루어졌다..

### 3. 산림사업에 따른 설치류 군집의 변화

산림사업(forest management)이란 산림의 생산성을 유지하기 위해 숲을 갱신, 관리, 이용, 보전하는 행위이며(Ford-Robertson 1971), 일반적으로 동령림(even-aged forest)과 이령림(uneven-aged forest)에서의 두 가지 관리체제로 나뉜다(Society of American Foresters 1981). 이령림에서는 잣은 빈도(5~10년 주기)로 한 개 또는 적은 단위(0.1ha)에서의 택벌(selective cutting)을 통해 관리된다(Yahner 2000). 동령림에서는 넓은 면적(0.5~20ha)의 임분을 대상으로 모든 나무를 제거하는 전벌(clearcutting)과 천연갱신을 위해 소수만을 남겨놓는 모수간벌(seed-tree cutting), 갱신수종을 보호하기 위한 산벌(shelterwood cutting)을 통해 관리되며(Yahner et al. 2012) 임분의 순환주기가 완료되기 전에 목재를 수확하는 간벌(thinning)이 실시된다. 간벌은 산림의 퇴행천이를 일으키는 대표적인 교란으로 임분의 구성과 구조를 변화시키고 임분 내에 서식하는 야생동물 군집에 영향을 준다(Yahner 2000).

산림천이에 따른 설치류 군집의 변화와 관련한 연구는 1960년을 전후로 하여 간벌이나 개벌과 같은 산림사업과 연관되어 북미 지역을 중심으로 진행되어왔다. 과거에는 간벌(e.g. Gentry et al. 1968) 또는 개벌(Tevis 1956a, Tevis 1956b, Wu-Pin 1958, Harrison 1965)에 따른 소형 포유류에 대한 반응 연구와 같이, 산림사업지와 비사업지 또는 사업 전후로 하여 달라지는 소형 포유류의 서식 현황에 대한 비교 연구가 주를 이루었다. 이러한 선행연구를 기반으로 간벌(e.g. Suzuki et al. 2003, Fuller et al. 2004, Converse et al. 2006, Sullivan et al. 2009) 또는 개벌(e.g. Ramirez and Hornocker 1981, Fuller et al. 2004) 후 시간경과에 따라 변화하는 산림환경에 대한 소형포유류 군집 혹은 개체군의 변화에



관한 연구와 같이, 시업연도가 다른 지역에서 조사비교를 하는 후향적 연구나 시업 이후 동일 지점에서 장기 모니터링을 하는 실험적 연구(experimental study)를 통해 천이에 대한 연구가 진행되었다. 현재에는 기존에 출판된 논문들의 리뷰를 통해 자료를 같은 양식으로 변환하여 분석하는 메타분석연구(e.g. Zwolak 2009, Sullivan et al. 2013, Michal and Rafal 2014)가 주로 이루어지고 있다.

그러나 국내에서는 아직까지 설치류 군집에 관한 연구는 간벌에 의한 소형포유류 반응에 대한 연구(Rhim and Lee 1999), 낙엽활엽수림에서 간벌과 개벌에 따른 설치류 두 종의 개체군 변화(Rhim and Lee 2001a), 일본잎갈나무림의 간벌과 개벌에 따른 소형 포유류 개체군 특징(Kang et al. 2013)과 같이 시업의 전후 비교에 대한 연구가 중점적으로 진행되었다. 고정조사구를 선정하고 장기적인 모니터링을 실시하여 변화상을 비교하는 실험적 연구는 산림시업에 따른 설치류 군집의 변화를 보다 명확하게 파악할 수 있으나, 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 단기적으로 간벌 시기가 다른 지역에서의 산림환경과 설치류 군집의 차이를 파악하는 후향적 연구를 통해 산림시업 이후 발생하는 산림 내 서식지 구조의 변화와 이에 대한 설치류 군집의 반응을 예측할 필요가 있다.

## 4. 연구 대상종

### 3.1. 등줄쥐

등줄쥐(striped field mouse, *Apodemus agrarius*)는 서부 유럽에서 바 이칼호수까지, 동으로는 아무르강 동부지역부터 중국, 한국, 대만 그리고 일본의 일부 섬(Uotsuri-jima, Nansei Isls.)에 이르기까지 구북구 전역에 걸쳐 분포하고 있다(Shiraishi and Arai 1980, Kaneko 2005, Musser and Carleton 2005). 외부 형태로는 등은 황갈색, 배는 흰색을 띠고 등에 뚜렷한 검은색의 줄이 있는 것이 특징이며(Kaneko 2005), 체중은 성체의 경우 23.1~42.0g이다(이 2011). 번식기는 따로 정해져 있지 않고 4월부터 12월까지 연중 번식하는 것으로 알려져 있으며(이 2011), 한번에 2.07~2.65마리의 새끼를 낳는다(Wang et al. 2004). 수명은 사육 상태에서 2.2년(Savage et al. 2004), 야생에서는 봄에 태어난 경우 6개월, 가을에 태어난 경우 11~12개월 가량으로 알려져있다(Schwarz et al. 1964). 식성은 잡식성(omnivore)이며(Meharg et al. 1997, Toal et al. 2001), 개활성의 서식지를 선호하고, 연중 수컷이 암컷보다 넓은 행동권을 가진다(이 2011). 연간 일주기 행동(circadian activity)에 있어서 여름에는 야행성(nocturnal), 가을에는 주행성(diurnal)과 야행성, 겨울에는 주행성을 보인다(ArgoAtlas 2003).

국외 연구로는 질병(Nemirov et al. 1999, Klempa et al. 2003, Klempa et al. 2005)과 계통 분류(Britton-Davidian 1991, Serizawa et al. 2000, Filippucci et al. 2002, Liu et al. 2004), 유전자 마커 개발(Makova et al. 1998)에 관한 연구가 있으며, 생태 관련 연구로는 형태 비교(Sikorski 1982), 체중 측정을 통한 연령 추정(Yang and Zheng

2003), 종자 분산(Li and Zhang 2003), 이동(Liro and Szacki 1987, Szacki and Liro 1991) 및 행동권(Yang and Zheng 2003, Flavicollis 2006), 개체군 변동(Ylonen et al. 1991, Zaixue et al. 2007, Chernousova 2010), 서식지 이용 특성(Fischer and Schroder 2014), 종간 경쟁(Gliwicz 1981, Simeonovska-Nikolova 2007)등에 대한 연구가 있었다.

국내에서는 국외 연구와 마찬가지로 질병(Lee et al. 1978, Lee et al. 1981, O'Guinn et al. 2008, Song et al. 2009)과 계통 분류(Koh 1986, Koh 1988, Koh 1989, Koh et al. 2000)에 대한 연구가 주로 이루어져 왔으며, 생태 관련 연구로는 소형 포유류 개체군에 대한 연구(Youngman 1956, Davis 1957, Jones and Barber 1957), 번식에 관한 연구(정 1996), 산불 및 임도 건설과 같은 교란에 따른 개체군 변화에 관한 연구(임 등 2007, Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a), 일중 휴면에 관한 연구(윤과 한 2006) 등이 이루어졌다.

### 3.2. 흰넓적다리붉은쥐

흰넓적다리붉은쥐(Korean field mouse, *Apodemus peninsulae*)는 시베리아, 중국의 동북부지역과 간쑤성(Kansu), 한국, 사할린, 일본 홋카이도에 서식하는 것으로 알려져 있다.(Kaneko 2005, Musser and Carleton 2005). 외부 형태로는 등은 어두운 황갈색을 띠고 배는 회거나 옅은 회색을 띤다(Ohdachi et al. 2009). 등줄쥐와는 다르게 등에 검은 줄이 없으며, 체중은 성체의 경우 19~27.6g으로 알려져 있으나(Nakata 1998, Kaneko 2005) 국내 연구(이 2011)에 의하면 23.4~38.4g으로 지역 간, 시기별 차이가 있다고 볼 수 있다. 주로 4월에서 8월 사이에 번식하며(Fujimaki and Kuwahata 1984), 수명은 사육 상태에서 최소 63개월

(Fujimaki and Kuwahata 1984), 야생에서는 13개월로 알려져 있다 (Tsuchiya 1985). 먹이는 크거나 중간 크기의 종자와 소형 무척추동물이 주를 이루며(Maeda et al. 1984), 서식지는 관목지나 초지 또는 조림지와 농경지 같은 2차 식생(secondary vegetation) 지역이다(Ohdachi et al. 2009). 행동권은 4계절 중 가을에 가장 크고 겨울에 가장 작으며, 수컷이 암컷보다 대체로 큰 행동권을 가진다(Lee et al. 2012b). 해가 진 이후부터 야간에 활동하는 일주기 행동을 나타내는 야행성 설치류이다(Yoneda and Nakata 1984).

국외 연구는 계통 분류(Lokugamage et al. 2002, Serizawa et al. 2002, Suzuki et al. 2003, Bellinvia 2004, Jeon et al. 2015) 및 DNA 마커 개발(Eo et al. 2011), 질병(Jiang et al. 2007, Zhang et al. 2007)에 관한 연구가 주로 이루어졌다. 생태 관련 연구는 먹이 저장(Lu and Zhang 2004, Lu and Zhang 2005, Zhang and Wang 2011), 종자 분산(Li and Zhang 2007, Yang and Yi 2011), 경쟁(Wang et al. 2004, Zhang et al. 2014), 고도별 분포(Kaneko 2012), 겨울철 체온 변화(Masaki et al. 2005)에 관한 연구 등이 진행되었다.

국내에서도 질병(Baek et al. 1998, Baek et al. 1999, Baek et al. 2006)과 계통 분류(Koh 1986, Koh 1988)연구가 주를 이루었으며, 최근 들어 산불 및 임도 건설 등 교란에 따른 개체군 변화 연구(임 등 2007, Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a), 선호 서식지 특성에 관한 연구(Rhim and Lee 2001a, Rhim and Lee 2001b), 서식지 구조에 따른 개체군 차이(Rhim and Lee 1999), 개체군 동태(이 2011) 및 행동권(Lee et al. 2012b, Park et al. 2014)에 관한 연구 등 생태 관련 연구가 진행되었다.

### 3.3. 대륙밭쥐

대륙밭쥐(Korean red-backed vole, *Myodes regulus*)는 개마고원 이남에 분포하는 한반도 고유종이다. 외부형태로는 등은 밝은 적갈색을 띠고 배는 전체적으로 회색빛을 띠며(원 1968), 성숙개체의 체중은 21.9~33.3g 이다(이 2011). 보통 5~6월에 번식이 왕성하며 출산 시 5~8마리의 새끼를 낳는다(원 1968). 많은 밭쥐류(vole)와 같이 초식성(herbivore)으로 나무의 열매와 순, 초본류를 먹이로 한다(원 1968). 과거 western red back vole 과 동일 종으로 취급되었으나 1990년 별개 종으로 분리되었다(Kaneko 1990). 일반적으로 고산 산림에 많이 분포하며 최대 1900m의 해발고도에서도 서식하는 것으로 확인되었다(원 1968). 보통 5~6월에 번식이 왕성하고 한배새끼수는 5~8마리로 알려져 있다(원 1968).

관련 연구로는 계통 분류(Kaneko 1990, Koh et al. 2010a, Koh et al. 2011)와 질병(Song et al. 2007, Lee et al. 2014), DNA 유전자(Kim and Park 2012)에 관한 연구가 주를 이루었다. 생태 관련 연구는 분포역이 작아 다른 설치류에 비해 상대적으로 많이 이루어지지 않았으며 선호하는 미세서식지에 대한 몇몇 연구만이 진행되었다(이 2004, Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a).

### 3.4. 다람쥐

다람쥐(Siberian chipmunk, *Tamias sibiricus*)는 동부유럽에서부터 카자흐스탄 동부, 몽골 북부, 중국, 한국, 일본 홋카이도를 거쳐 사할린까지 이르는 넓은 분포역을 갖고 있다(Thorington and Hoffmann 2005). 외부 형태로는 등과 꼬리는 밝은 갈색이고 등에 5개의 줄무늬가 있으며 배와 귀끝이 흰 것이 특징이다. 체중은 71~116g 정도이다(Ohdachi et al. 2009). 보통 봄에서 여름 사이에(4월 중순에서 5월 하순까지) 번식을 하고(Kawamichi and Kawamichi 1993) 출산 시 사육 환경에서는 2~7마리, 야외에서는 3~6마리의 새끼를 낳으며(Kawamichi and Kawamichi 1993), 수명은 5~6년 정도이다(Ishii 2005). 도토리, 종자, 열매, 눈(bud), 나뭇잎, 꽃, 수액 등과 같은 다양한 식물을 먹이로 하며 계절에 따라 먹이원이 조금씩 달라지기도 한다(Kawamichi 1980). 해안부터 고산지대까지 고도에 따른 분포역이 넓으며 산림 주변의 개활성 미세서식지를 선호한다(Ishii 2005). 수컷의 가을철 행동권은 6,630m<sup>2</sup>, 암컷은 3,394m<sup>2</sup>로 알려져 있으며 암수간에 행동권이 겹치기도 한다(Kawamichi 2000). 등지로는 보통 지하 굴이나 나무의 빈공간을 이용하며 도토리 위주로 많은 양의 먹이를 등지에 저장하는 습성을 가지고 있다(Kawamichi 1980). 10월 하순 또는 11월 초순부터 4월 하순 또는 5월 초순까지 동면기이고, 암컷이 수컷보다 일찍 동면한다(Kawamichi 1989).

관련 연구로는 국외에서는 계통 분류(Oshida et al. 1996, Pisanu et al. 2013), 질병(Pisanu et al. 2010, Marsot et al. 2011, Marsot et al. 2013)뿐만이 아니라 먹이 가용성(Yi et al. 2011)과 먹이 저장(Yi et al. 2012), 종자 산포(Zhang et al. 2008, Yi et al. 2013)에 관한 연구와 함께, 행동권(Marmet et al. 2009), 분산(Marmet et al. 2011), 번식(Marmet et

al. 2012), 동면(Mieko Kawamichi 1996), 둥지 구조와 둥지 이용(Kawamichi 1989)과 같은 생태적인 연구가 많이 이루어졌다.

그러나 국내에서는 아직까지 계통 분류(Koh 1994, 함 2007, 김 2008, 이 2009, Koh et al. 2009, Koh et al. 2010b), 질병(이 등 1994, 백 등 1997, Kim et al. 2010), 핵형 분석(김과 이 1990, 1994)에 관한 연구가 중점적으로 진행되었고, 생태 관련 연구로는 활엽수 종자의 2차 분산(김과 김 2013), 공간 이용 특성과 먹이 이용(Jo et al. 2014) 등이 진행되었다.

### Ⅲ. 재료 및 방법

#### 1. 연구 대상지

본 연구의 대상지역은 봉화군 장군봉 시범경영계획구 지역(동경 128° 59' 33.81" ~ 129° 06' 15.21", 북위 36° 47' 20.49" ~ 36° 54' 37.33")으로 경상북도 봉화군 소천면 및 재산면에 걸쳐 위치하고 있다. 총 면적은 8,376ha로 37개의 임반으로 구성되어 있으며 최고봉인 장군봉의 해발고도는 1,120m이다(영주국유림관리소 2014). 내륙산악지대에 위치한 이 지역은 대륙성 기후를 띠며 큰 연교차와 동위도의 타 지역에 비해 낮은 기온을 보인다. 연평균 기온은 9.9℃(1월 평균기온 -3.9℃, 8월 평균기온 22.8℃)로 일 최고기온은 30.1℃, 일 최저기온은 -11.1℃이며, 연 평균강수량은 1,217.9mm이다(기상청 국가기후자료센터 2015).

본 연구는 1960~70년대 일본잎갈나무(*Larix kaempferi*) 조림지 내, 대조구(미간벌지역), 간벌1년차(2014년 간벌), 간벌3년차(2012년 간벌), 간벌7년차(2008년 간벌) 지역에서 각각 3개의 조사구를 선정하여 총 12개의 조사구를 대상으로 수행하였다(Figure 1).

이들 처리구의 상층 식생은 일본잎갈나무가 우점하고 있었으며, 그 외에 대조구에서는 신갈나무(*Quercus mongolica*), 간벌1년차, 간벌3년차 처리구에서는 소나무(*Pinus densiflora*) 등이 생육하고 있었다. 중층 식생은 대조구는 쇠물푸레나무(*Fraxinus sieboldiana*), 생강나무(*Lindera obtusiloba*), 철쭉꽃(*Rhododendron schlippenbachii*), 간벌1년차 처리구는 쪽동백나무(*Styrax obassia*), 생강나무, 간벌3년차 처리구는 두릅나무(*Aralia elata*), 조록싸리(*Lespedeza maximowiczii*), 산딸기(*Rubus*



*crataegifolius*), 간벌7년차 처리구는 쇠물푸레나무, 물푸레나무(*Fraxinus chinensis* var. *rhynchophylla*), 생강나무 등이 우점하고 있었다(Table 1).

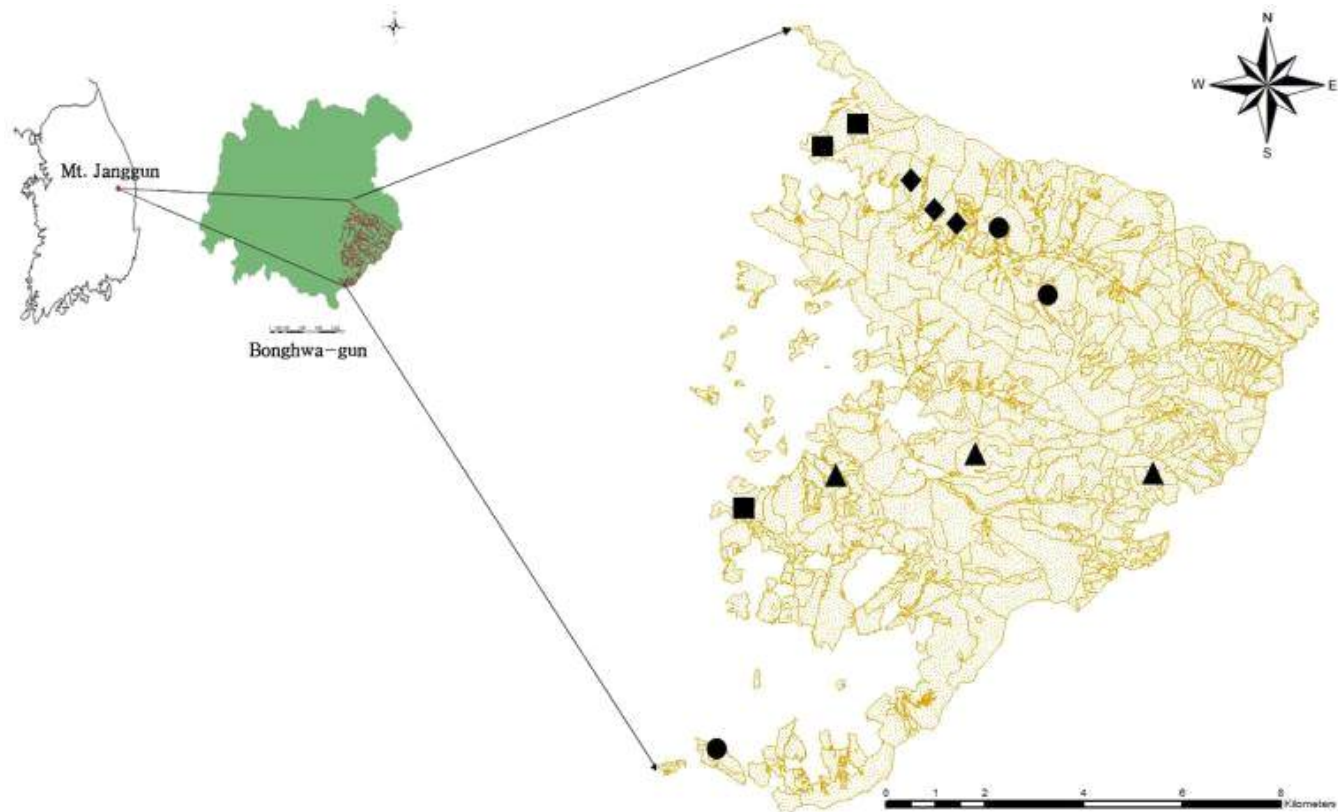


Figure 1. Location of study area on Mt. Janggun, Bonghwa, Gyeongsangbuk Province, Korea  
 (●: Control, ■: 1 year after thinning treatment,  
 ▲: 3 years after thinning treatment, ◆: 7 years after thinning treatment)

Table 1. Geographical and ecological information of the study area

Stands Factors		Control			1 year after thinning			3 years after thinning			7 years after thinning		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Coordi- nates	N	36° 53' 13.38"	36° 52' 29.27"	36° 47' 39.67"	36° 54' 27.91"	36° 54' 11.83"	36° 50' 12.93"	36° 50' 50.39"	36° 50' 34.31"	36° 50' 26.96"	36° 53' 39.98"	36° 53' 29.52"	36° 53' 24.92"
	E	129° 3' 43.42"	129° 4' 29.53"	128° 59' 48.35"	129° 1' 59.25"	129° 1' 31.30"	129° 0' 21.71"	129° 3' 38.27"	129° 5' 52.97"	129° 1' 37.23"	129° 2' 42.23"	129° 3' 2.79"	129° 3' 15.22"
Aspect		E	E	NW	NW	NW	NW	S	SE	NE	E	SE	SE
Altitude (m)		550	671	397	511	537	720	752	898	655	504	503	590
Inclina- tion (°)		27	23	10	26	29	22	27	28	25	29	20	23
Dominant tree species		<i>Larix kaempferi</i> (56.10 <sup>a</sup> ) <i>Quercus mongolica</i> (15.49)			<i>Larix kaempferi</i> (64.80) <i>Pinus densiflora</i> (12.29)			<i>Larix kaempferi</i> (56.80)			<i>Larix kaempferi</i> (69.23) <i>Pinus densiflora</i> (12.39)		
Dominant shrub species		<i>Fraxinus sieboldiana</i> (19.18) <i>Lindera obtusiloba</i> (16.44) <i>Rhododendron schlippenbachii</i> (12.33)			<i>Styrax obassia</i> (22.46) <i>Lindera obtusiloba</i> (10.14)			<i>Aralia elata</i> (14.60) <i>Lespedeza maximowiczii</i> (12.20) <i>Rubus crataegifolius</i> (11.20)			<i>Fraxinus sieboldiana</i> (28.66) <i>Fraxinus chinensis</i> var. <i>rhynchophylla</i> (24.52) <i>Lindera obtusiloba</i> (19.11)		

<sup>a</sup> DI: Dominance Index

## 2. 연구 방법

### 2.1. 서식지 구조 조사

간벌 이후 시간 경과에 따른 서식지 환경의 변화를 파악하기 위해 12개의 모든 처리구에서 1ha(100×100m)의 조사구를 설정하여 서식지 구조 조사를 실시하였다. 서식지 구조 조사는 처리별 매목과 암석피도, 층위별 피도, 수목잔존물, 낙엽층 깊이에 대해 실시하였으며, 산림 식생의 생물량이 최대가 되는 8월 중순부터 9월 초까지 조사를 실시하였다.

매목조사는 1ha의 조사구에서 교목은 3개(20×20m), 관목은 9개(5×5m), 초본은 9개(1×1m)의 하위조사구(subplot)를 설정하여 수행하였다(Kent 2012, Figure 2). 교목은 종, 흉고직경, 수고, 수관비율, 수관폭, 관목은 종, 수고, 수관폭, 초본은 종, 지상부 줄기 수, 높이, 피도를 측정하여 기록하였다(Table 2).

암석피도, 층위별피도, 수목잔존물, 낙엽층 깊이에 대해서는 조사구 내 관목 조사구 안에서 조사를 실시하였다(Table 2). 암석피도 및 층위별피도에 있어서 피도가 0%인 경우에는 0, 1~20%인 경우 1, 21~40%인 경우 2, 41~60%인 경우 3, 61~80%인 경우 4, 81~100%인 경우에는 5로 정하여 피도를 일정한 간격 척도로 수치화하였다(Kent 2012). 층위별피도는 초본층(<1m), 관목층(1~2m), 아교목층(2~8m), 교목층(>8m)의 4개의 층위(layers)로 나누었다(임 1997, 이 2011). 수목잔존물의 부피는 수목잔존물 양끝의 지름과 길이를 측정하여 구하였고(Shorohova and Shorohov 2001, Gibb et al. 2005), 부후단계(decay class)는 0-4의 간격 척도로 수치화하였으며 값이 증가할수록 목재 부후가 많이 진행되었음을 나타낸다(Maser et al. 1988). 낙엽층 깊이는 관목 조사구 내 양끝 4지점

과 중앙 1지점을 측정하여 평균값을 이용하였다(Wayman and North 2007).

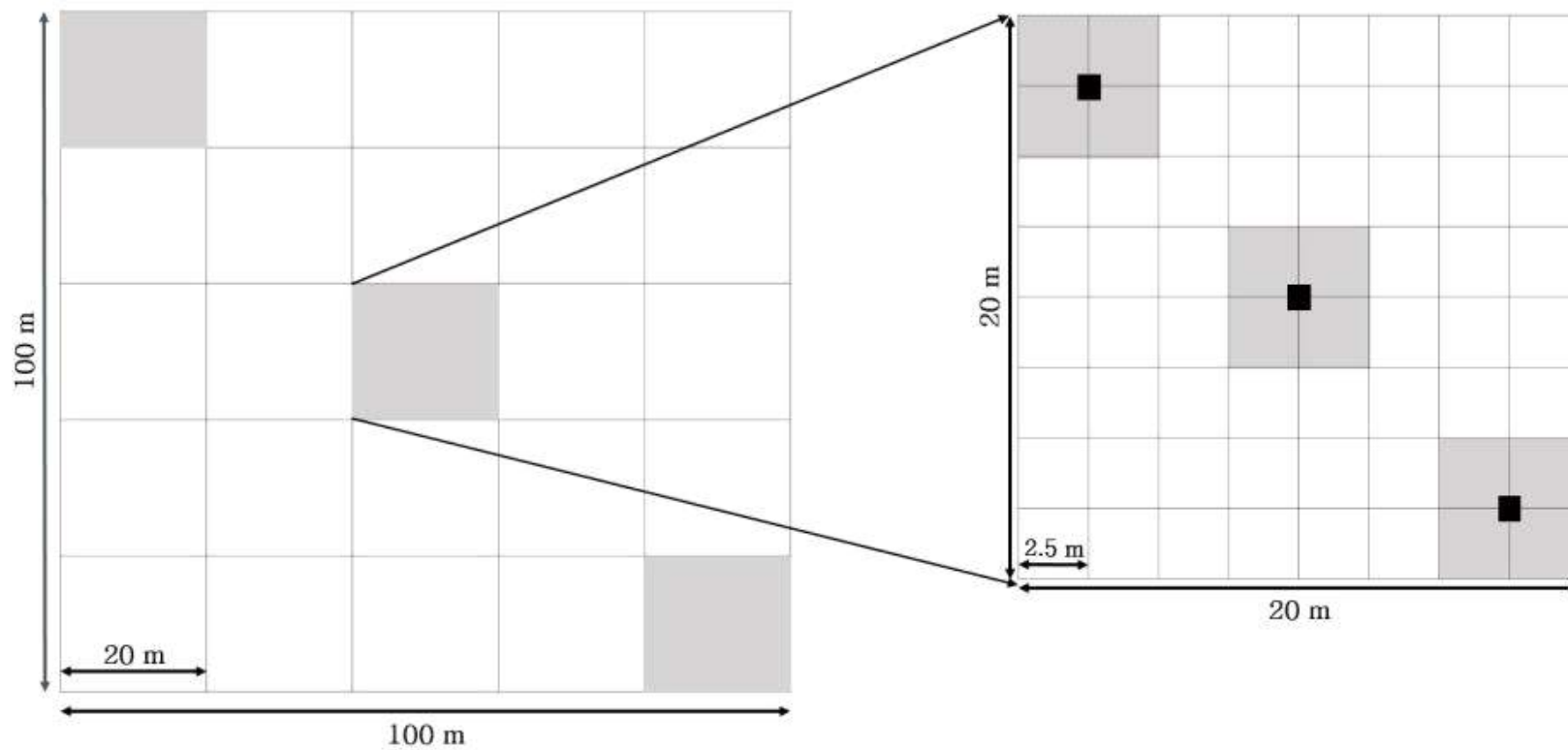


Figure 2. Scheme of vegetation sampling plot in this study  
 (left: trees (gray square, 20×20m),  
 right: shrubs (gray square, 5×5m), herbaceous plants (black square, 1×1m))

Table 2. Descriptions of habitat variables measured in this study

Variables		Description
Trees (DBH $\geq$ 4 cm and height $\geq$ 4 m within 400 m <sup>2</sup> square)	Tree stems (ea)	Number of tree stems
	DBH <sup>a</sup> (cm)	DBH of tree stems
	Tree height (m)	Height of tree stems
	Width of crown 1 (m)	Length of major axis 1 of tree crown
	Width of crown 2 (m)	Length of major axis 2 of tree crown
	Crown ratio (%)	Proportion of crown length to total tree height
Shrubs (DBH $\leq$ 4 cm and 1~2 m height within 25 m <sup>2</sup> square)	Shrub stems (ea)	Number of shrub stems
	Shrub height (cm)	Height of shrub stems
	Width of crown 1 (cm)	Length of major axis 1 of shrub crown
	Width of crown 2 (cm)	Length of major axis 2 of shrub crown
Herbaceous plants (Ground part and height $<$ 1 m within 1 m <sup>2</sup> square)	Herbaceous plant stems (ea)	Number of herbaceous plant stems
	Herbaceous plant height (cm)	Average height of herbaceous plants
	Herbaceous plant cover (%)	Coverage of herbaceous plants

<sup>a</sup> DBH: diameter at breast height (cm)

Table 2. Continued

Variables		Description
	Herbaceous plant layers	Coverage under 1m height
Coverage scale (Scale 0-5 <sup>b</sup> within 25 m <sup>2</sup> square)	Shrub layers	Coverage during 1-2m height
	Subtree layers	Coverage during 2-8m height
	Tree layers	Coverage over 8m height
Rock coverage (Scale 0-5 within 25 m <sup>2</sup> square)		Coverage of rock
CWD <sup>b</sup> pieces (ea, Within 25 m <sup>2</sup> square)		Number of CWD pieces
CWD volume (m <sup>3</sup> , Within 25 m <sup>2</sup> square)		Total volume of downed CWD
Litter layer depth (cm, Within 25 m <sup>2</sup> square)		Average depth of litter layer

<sup>b</sup> Coverage value (Braun blanquet): 0=0%, 1=1~20%, 2=21~40%, 3=41~60%, 4=61~80, 5=81~100%

<sup>c</sup> CWD: coarse woody debris



## 2.2. 설치류 포획 조사

처리 간 설치류 군집 특성을 파악하기 위해 2015년 6월 말부터 2015년 8월 초까지 10일 연속으로 포획조사를 실시하였다.

총 12개의 처리구 내에 1ha(100×100m) 크기의 조사구를 설치하였고, 각 조사구는 임연부 효과(edge effect)에 따른 설치류 군집 간의 영향을 배제하기 위해 최소 6ha 이상의 면적을 가진 처리구 내부에서 실시하였다. 알려진 각 종의 행동권을 기반으로(Kawamichi 2000, 이 2011) 조사구 간 최소 300m 이상의 거리를 두어 조사구 간에 설치류의 이동이 이루어지지 않도록 하였다. 또한, 각 조사구는 포획 조사 및 서식지 환경 조사를 위해 20m 간격의 격자로 세분화한 후 형광 테이프로 표시하여 구분이 될 수 있도록 하였다. 각 조사구 내에서는 가로, 세로 격자의 모서리에 총 36개의 생체포획용 트랩(Sherman collapsible live trap, 7.5x9.2x29.2cm)을 설치하였다. 미끼는 볏을 사용하였으며, 먹이 부족으로 인한 설치류의 폐사를 방지하기 위해 충분한 양을 넣어주었다. 트랩을 설치한 후에는 그 다음날부터 10일 동안 포획된 설치류에 대해 트랩 위치, 종(원 1967, 윤 등 2004), 성별 및 성숙도(James 2011), 무게(단위 1g)를 기록하였다(이 등 2008). 포획된 개체에 대한 개체 인식을 위해 순번을 매겨 귀에 구멍을 뚫고(ear-punching) 포획된 트랩 위치에서 놓아 준 후, 재포획하는 포획-표지방사법(capture-mark and release method)을 사용하였다(Nichols 1992).

### 2.3. 통계 분석

각 조사구에서 얻어진 서식지 변수와 설치류 전체 포획 개체수, 종별 포획률(McCay and Komoroski 2004)을 비교하기 위해 처리 간 Kruskal-Wallis test를 실시하였다(Ecke et al. 2002, Hamm and Diller 2009). Kruskal-Wallis test는 자료가 정규분포를 따르지 않을 때 이용되는 비모수통계법 중 세 개 이상의 요인을 비교하는데 일반적으로 쓰인다(Kruskal and Wallis 1952, Theodorsson-Norheim 1986). 처리 간 유의차를 보인 서식지 변수와 종에 대해서는 Bonferroni 사후검정을 실시하였으며, 자료의 통계분석은 IBM SPSS statistics 23 software를 이용하였다.

처리 간 설치류 군집 구조를 비교하기 위해 설치류 군집 내 종별 포획수에 대한 카이제곱 분석(chi-square test)을 실시하였다. 카이제곱 분석은 서식 환경이나 시기에 따른 생물 군집의 구조의 변화를 설명할 때 사용되는 방법이다(Anthony et al. 1987, Kirkland et al. 1996). 카이제곱 분석시 R software(3.2.2)를 이용하였으며, 5%의 유의성을( $p < 0.05$ ) 나타낼 때 처리 간 군집 구조의 차이를 보이는 것으로 간주하였다.

서식지 환경과 설치류 군집과의 관계에서는 군집 내 종별 서식지 환경을 보고자 종별 포획률과 서식지 변수 간 정준상관분석(CCA, canonical correspondence analysis)을 실시하였다. 정준상관분석은 생물 군집과 환경과의 관계를 설명할 때 사용되는 다변량 분석방법으로 설치류 군집 내 종별 미세서식지 이용에 대한 분석에도 사용된다(Miklos and Ziak 2002, Dalmagro and Vieira 2005). 정준상관분석 시 R software(3.2.2)의 vegan package를 이용하였으며, 유의성 검증을 위해 Monte Carlo permutation (999 repeats)을 실시하였다. 5% 미만의 유의

성을( $p < 0.05$ ) 나타낼 때 통계적으로 유의한 것으로 간주하였다.

## IV. 결과

### 1. 처리 간 서식지 구조 비교

#### 1.1. 처리 간 서식지 구조 분석

처리별 서식지 변수의 평균을 이용하여 분석을 한 결과, 총 20개의 요인 중 6개의 요인(교목수관비율, 관목수, 수목잔존물 수, 관목층피도, 교목층피도, 암석피도)에 대해 차이가 나타났다(Table 3: Kruskal-Wallis test). 처리 간 유의한 차이를 보이는 요인에 대해 Bonferroni 사후검정을 실시한 결과, 교목수관비율( $\chi^2=9.46$ ,  $p=0.024$ , Figure 3)과 관목수( $\chi^2=9.36$ ,  $p=0.025$ , Figure 4)는 간벌3년차에서 대조구와 간벌1년차에 비해 높았으며, 수목잔존물의 수( $\chi^2=8.13$ ,  $p=0.043$ , Figure 7)는 간벌1년차 처리구가 대조구에 비해 많았다. 층위별피도의 경우 관목층피도( $\chi^2=8.08$ ,  $p=0.044$ , Figure 5)는 간벌3년차에서 간벌1년차에 비해 높았으며, 교목층피도( $\chi^2=8.61$ ,  $p=0.035$ , Figure 6)는 대조구, 간벌7년차에서 높았고 간벌3년차 처리구에서 낮은 값을 보였다. 암석피도( $\chi^2=9.24$ ,  $p=0.026$ , Figure 8)는 간벌1, 3년차 처리구에서 가장 높은 값을 보였다.

통계적 유의차를 보이지 않는 변수에 대해 평균 비교를 한 결과, 교목의 경우 교목수와 흉고단면적, 수관면적이 대조구에서 가장 높았으며, 흉고직경과 수고는 가장 낮았다. 관목의 경우 수관면적은 간벌3년차 처리구에서 가장 높았으며, 관목수고는 처리 간 큰 차이를 보이지 않았다. 초본은 지상부줄기 수, 높이, 피도 모두 간벌3년차 처리구에서 가장 높았

다. 층위별피도의 초본층피도는 간벌3년차 처리구, 아교목층피도는 대조구에서 가장 높았다. 수목잔존물(CWD)의 부피는 간벌1년차에서 가장 높았으며, 부후 정도는 간벌7년차 처리구에서 가장 높게 나타났다. 토양의 낙엽층 깊이는 처리구 간 큰 차이를 보이지 않았다(Table 3).

Table 3. Habitat variables (mean±SE) of control and treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

Variables		Treatments				$\chi^2$	P
		Control (n=3)	1 year after thinning (n=3)	3 years after thinning (n=3)	7 years after thinning (n=3)		
Trees	No. of tree stems/ha	1411.11±145.64	500.00±159.50	355.56±111.84	661.11±64.61	7.51	0.057
	DBH (cm)	16.74±3.10	24.30±2.04	23.22±4.46	23.97±0.62	4.74	0.192
	Basal Area (m <sup>2</sup> /ha)	38.25±8.31	21.96±3.68	15.17±1.07	32.46±1.53	7.62	0.055
	Tree height (m)	16.80±3.28	18.96±0.97	16.85±3.23	20.89±2.39	1.26	0.740
	Crown ratio (%)	35.86±3.78	33.82±2.72	52.61±1.87	45.66±2.24	9.46	<b>0.024</b>
	Crown area (m <sup>2</sup> /ha)	31751.57±5524.56	16051.07±5418.14	13422.30±2175.69	18763.44±3912.42	5.00	0.172

Table 3. Continued

Variables		Treatments				$\chi^2$	P
		Control (n=3)	1 year after thinning (n=3)	3 years after thinning (n=3)	7 years after thinning (n=3)		
Shrubs	No. of shrub stems/ha	2192.59±514.05	2177.78±950.46	7762.96±629.76	4666.67±247.46	9.36	<b>0.025</b>
	Shrub height (cm)	174.45±26.92	140.91±23.21	166.38±1.93	163.24±15.19	1.36	0.715
	Crown area (m <sup>2</sup> /ha)	3783.58±929.31	3802.83±2018.81	11561.36±1435.11	5880.01±799.31	7.21	0.066
Herbaceous plants	No. of herbaceous plant stems/m <sup>2</sup>	17.33±5.71	32.56±10.47	33.52±1.41	16.22±4.77	6.33	0.097
	Herbaceous plant height (cm)	10.8±0.52	26.97±9.34	37.21±2.61	24.86±4.96	7.31	0.063
	Herbaceous plant Cover (%)	17.78±8.61	38.37±16.73	54.56±7.61	33.11±5.80	4.23	0.238

Table 3. Continued

Variables		Treatments				$\chi^2$	P
		Control (n=3)	1 year after thinning (n=3)	3 years after thinning (n=3)	7 years after thinning (n=3)		
Coverage scale	Herbaceous plant layers (<1m)	1.48±0.33 <sup>b</sup>	2.81±0.68	3.39±0.39	3.15±0.27	5.72	0.126
	Shrub layers (1-2m)	1.70±0.61	1.31±0.54	3.82±0.23	3.37±0.42	8.08	<b>0.044</b>
	Subtree layers (2-8m)	1.93±0.92	0.41±0.26	0.72±0.33	0.41±0.41	4.66	0.199
	Tree layers (>8m)	4.30±0.30	3.37±0.43	2.32±0.38	4.63±0.13	8.61	<b>0.035</b>
Rock coverage		0.11±0.06	0.46±0.02	0.61±0.12	0.00±0.00	9.24	<b>0.026</b>
No. of CWD pieces/ha		548.15±199.31	3362.96±526.08	2237.04±417.19	2088.89±302.53	8.13	<b>0.043</b>
Volume of CWD (m <sup>3</sup> )/ha		104.79±62.41	388.84±94.44	217.39±63.33	206.90±33.71	7.62	0.055
Decay class (0-4)		2.07±1.00	1.43±0.34	2.20±0.31	2.25±0.43	2.90	0.408
Litter layer depth (cm)		7.07±1.20	8.46±0.72	7.74±0.49	6.41±2.20	1.51	0.679

<sup>b</sup> coverage value : 0=0%, 1=1~20%, 2=21~40%, 3=41~60%, 4=61~80%, 5=81~100%



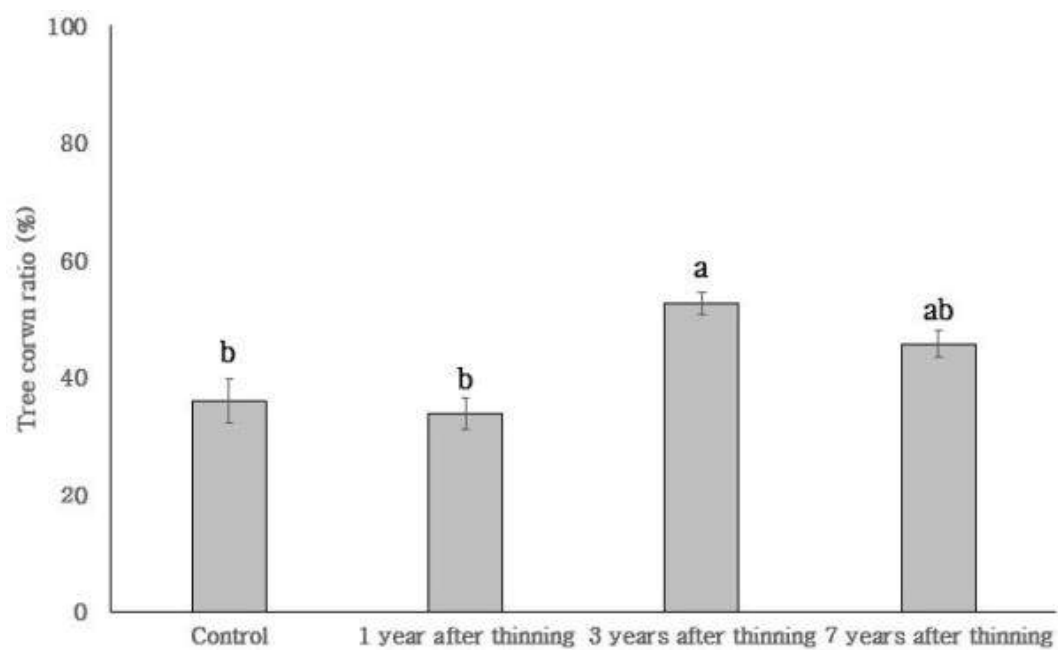


Figure 3. Comparison of tree crown ratio (%) between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

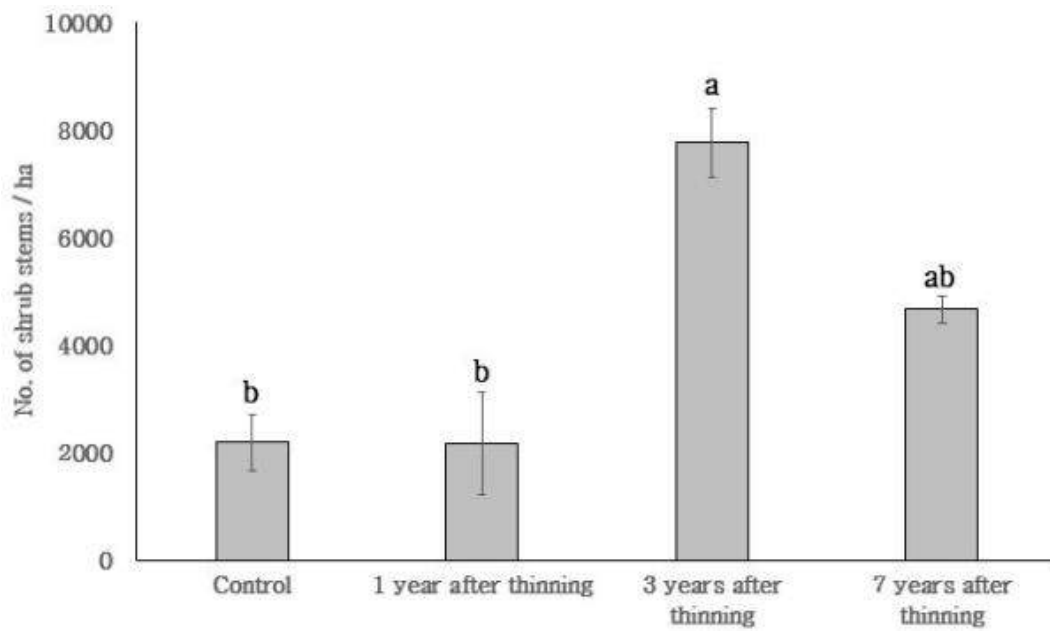


Figure 4. Comparison of number of shrub stems between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

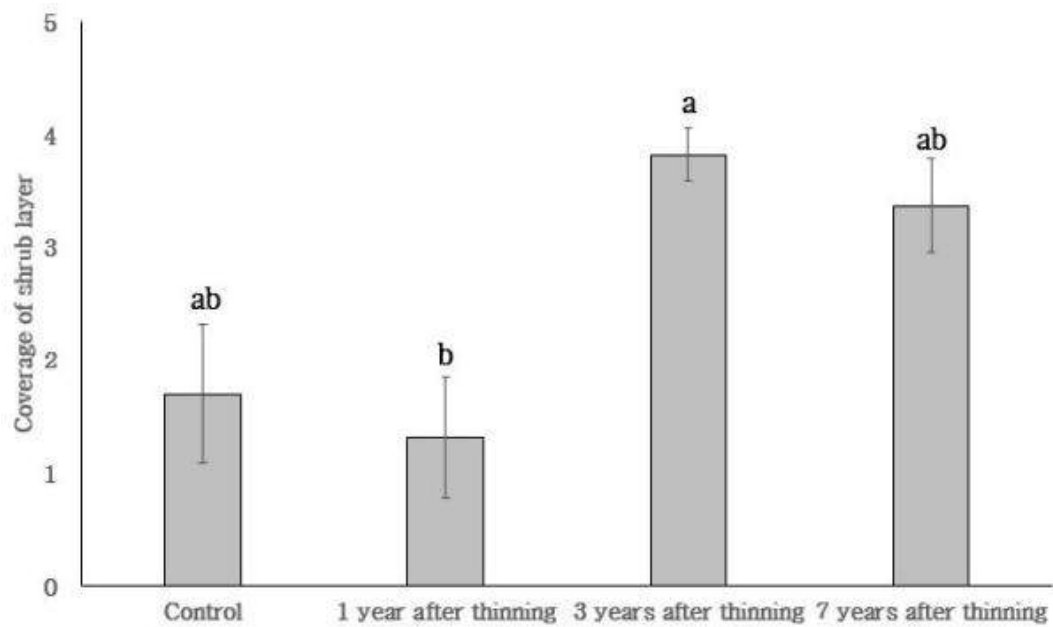


Figure 5. Comparison of coverage of shrub layer between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

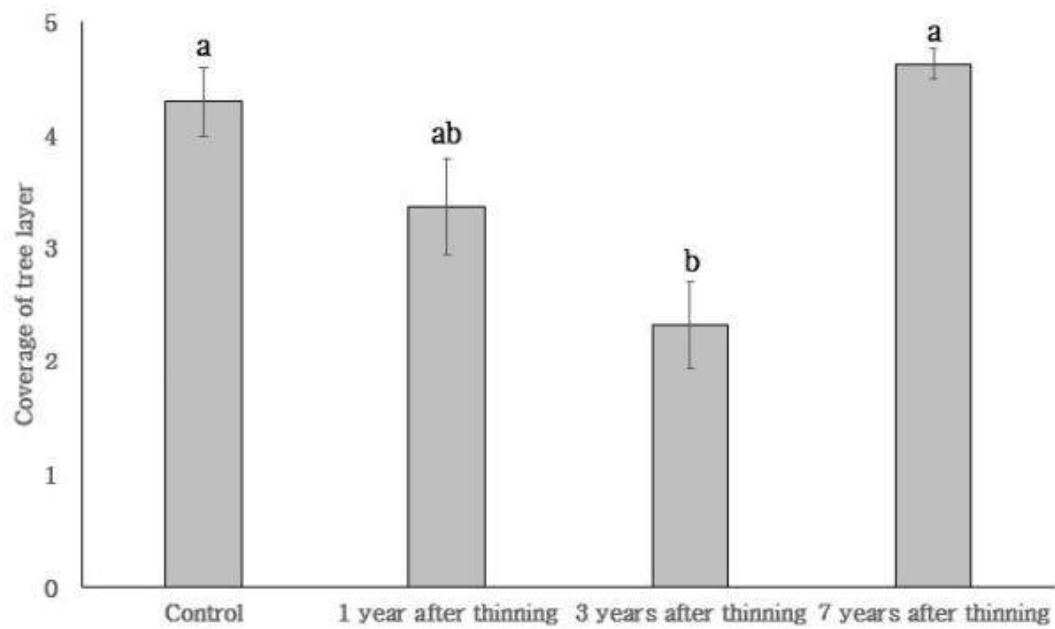


Figure 6. Comparison of coverage of tree layer between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

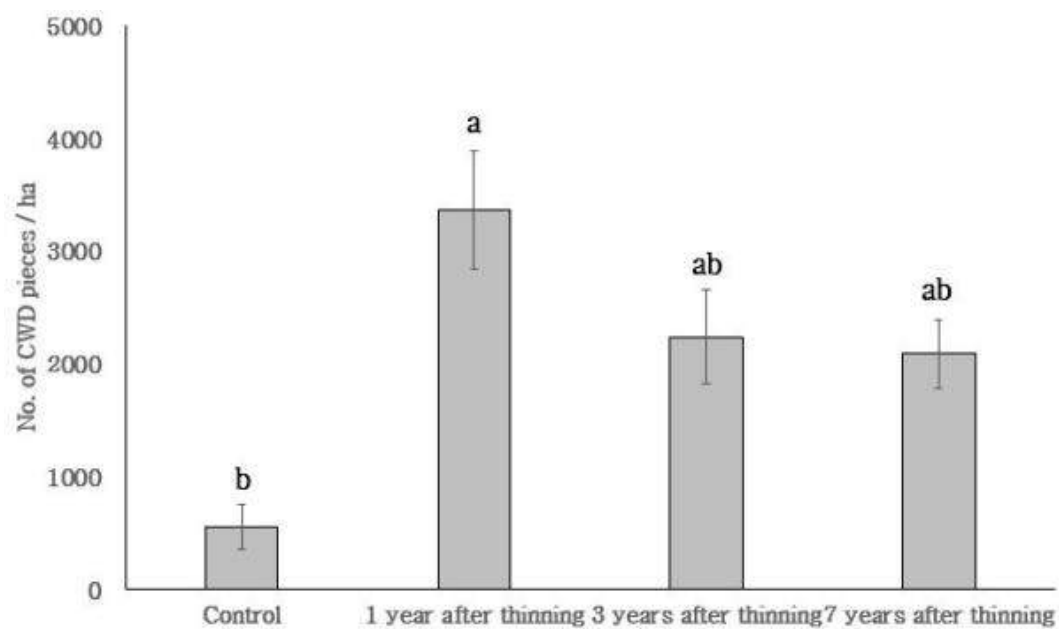


Figure 7. Comparison of number of CWD pieces between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

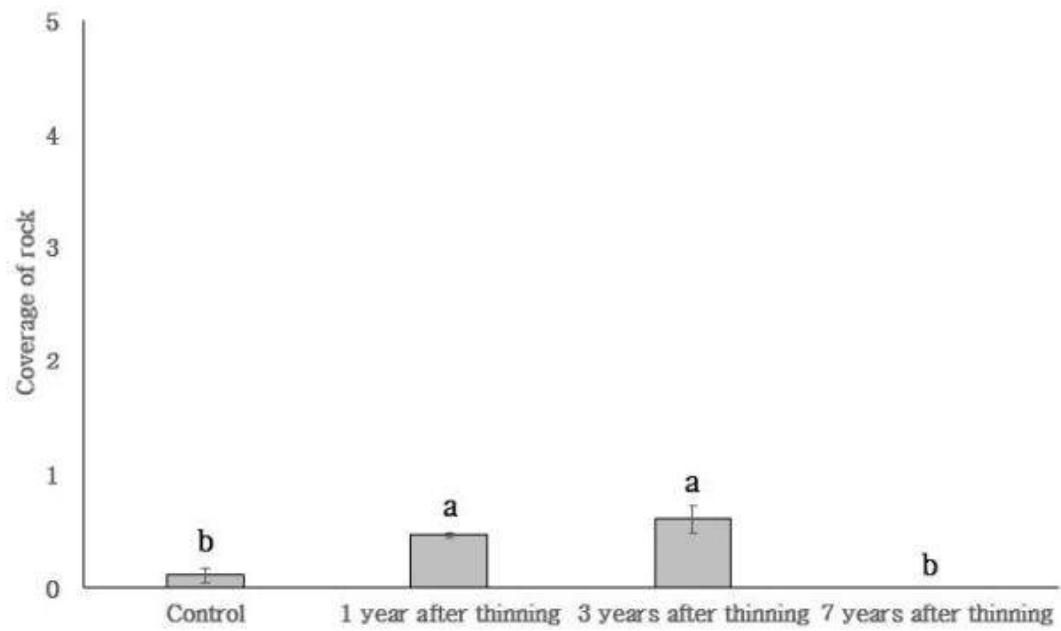


Figure 8. Comparison of coverage of rock between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

## 2. 처리 간 설치류 군집 비교

### 2.1. 전체 설치류 포획 결과

2015년 6월부터 8월까지 처리별 조사구(n=3)에서 각 10일 연속으로 포획조사를 실시한 결과 등줄쥐와 흰넓적다리붉은쥐, 대륙발쥐, 다람쥐 등 총 4종 468개체가 923회에 걸쳐서 포획되었으며, 등줄쥐는 344회, 흰넓적다리붉은쥐는 92회, 대륙발쥐는 9회, 다람쥐는 10회에 걸쳐 총 455회 재포획되었다(Table 4).

처리별 설치류 포획개체수와 포획수는 간별3년차에서 4종 189개체가 367회에 걸쳐 포획되어 가장 높았으며, 간별1년차에서는 4종 126개체가 212회, 간별7년차에서는 4종 106개체가 234회, 대조구에서는 3종 47개체가 63회에 걸쳐 포획되어 가장 낮았다. 또한, 처리별 설치류 포획개체수에 대해 Kruskal-Wallis test를 한 결과, 설치류 개체수는 간별이 실시된 처리구에서 많았으며( $\chi^2=6.253$ ,  $p=0.012$ ), 처리 간 비교에서는 간별 3년차 처리구가 대조구보다 높은 값을 보였다( $\chi^2=8.929$ ,  $p=0.030$ , Figure 9).

포획된 설치류 4종에 대한 종 우점도는 대조구에서는 등줄쥐(83.19), 흰넓적다리붉은쥐(10.56), 대륙발쥐(6.25), 간별1년차에서는 등줄쥐(39.86), 흰넓적다리붉은쥐(34.75), 대륙발쥐(24.83), 다람쥐(0.56), 간별3년차에서는 등줄쥐(66.21), 흰넓적다리붉은쥐(20.77), 다람쥐(9.62), 대륙발쥐(3.41), 간별7년차에서는 등줄쥐(54.81), 흰넓적다리붉은쥐(21.89), 대륙발쥐(14.20), 다람쥐(9.09) 순이며, 모든 처리구에서 등줄쥐가 우점하고 있었다(Table 5).

Table 4. Live-trapping results at control and three treatment sites (*Aa*: *Apodemus agrarius*, *Ap*: *Apodemus peninsulae*, *Mr*: *Myodes regulus*, *Ts*: *Tamias sibiricus*)

Species	Treatments				Total
	Control	1 year after thinning	3 years after thinning	7 years after thinning	
<i>Aa</i>	96 <sup>a</sup> (38, 58) <sup>b</sup>	89 (53, 36)	275 (124, 151)	159 (60, 99)	619 (275, 344)
<i>Ap</i>	9 (6, 3)	86 (43, 43)	64 (39, 25)	41 (20, 21)	200 (108, 92)
<i>Mr</i>	5 (3, 2)	36 (29, 7)	7 (7, 0)	14 (14, 0)	62 (53, 9)
<i>Ts</i>	–	1 (1, 0)	21 (19, 2)	20 (12, 8)	42 (32, 10)
Total	110 (47, 63)	212 (126, 86)	367 (189, 178)	234 (106, 128)	923 (468, 455)

<sup>a</sup> No. of times that rodents were captured

<sup>b</sup> (No. of captured individuals, No. of recapture times)



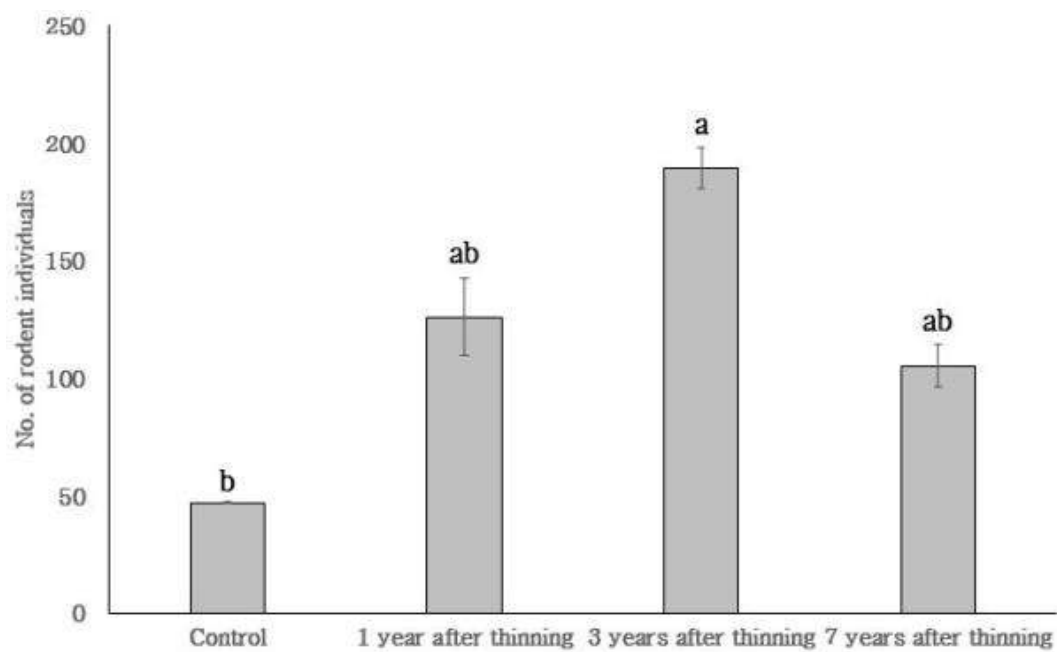


Figure 9. Comparison of the total number of trapped rodents between control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

Table 5. Dominance index (DI) of each rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

Treatments			
Control	1 year after thinning	3 years after thinning	7 years after thinning
<i>Aa</i> (83.19) <sup>a</sup>	<i>Aa</i> (39.86)	<i>Aa</i> (66.21)	<i>Aa</i> (54.81)
<i>Ap</i> (10.56)	<i>Ap</i> (34.75)	<i>Ap</i> (20.77)	<i>Ap</i> (21.89)
<i>Mr</i> (6.25)	<i>Mr</i> (24.83)	<i>Ts</i> (9.62)	<i>Mr</i> (14.20)
	<i>Ts</i> (0.56)	<i>Mr</i> (3.41)	<i>Ts</i> (9.09)

<sup>a</sup> Dminance index (DI)

## 2.2. 처리별 설치류 포획 결과

처리구별 종별 포획률을 비교한 결과 모든 종이 처리구별로 유의한 차이를 보였다(Table 6). 등줄쥐의 포획률은 간벌3년차에서 가장 높았으며 대조구와 간벌1년차 처리구에서 낮았다( $\chi^2=20.52$ ,  $p<0.001$ ). 흰넓적다리붉은쥐는 간벌1, 3, 7년차 처리구에서 대조구에 비해 포획률이 높았으며( $\chi^2=34.66$ ,  $p<0.001$ ), 대륙밭쥐의 포획률은 간벌1년차 처리구에서 대조구와 간벌3년차에 비해 높았다( $\chi^2=14.69$ ,  $p=0.002$ ). 다람쥐는 간벌3, 7년차 처리구에서 대조구와 간벌1년차에 비해 높은 포획률을 보였다( $\chi^2=19.71$ ,  $p<0.001$ , Table 6).

평균 포획률의 순서는 등줄쥐는 간벌3년차, 간벌7년차, 대조구, 간벌1년차 순으로, 흰넓적다리붉은쥐는 간벌1년차, 간벌3년차, 간벌7년차, 대조구 순으로, 대륙밭쥐는 간벌1년차, 간벌7년차, 간벌3년차, 대조구 순으로 나타났으며, 다람쥐는 간벌3년차, 간벌7년차, 간벌1년차, 대조구 순으로 나타났다(Table 6).

Table 6. Capture rate (mean±SE) of each rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning). Different letters indicate significantly different value (p<0.05)

Species	Treatments				$\chi^2$	P
	Control	1 year after thinning	3 years after thinning	7 years after thinning		
<i>Aa</i>	<b>b</b> 8.89 ±1.40	<b>b</b> 8.24 ±1.22	<b>a</b> 25.46 ±3.52	<b>ab</b> 14.72 ±1.92	20.52	<0.001
<i>Ap</i>	<b>b</b> 0.83 ±0.30	<b>a</b> 7.96 ±1.14	<b>a</b> 5.93 ±1.31	<b>a</b> 3.80 ±0.67	34.66	<0.001
<i>Mr</i>	<b>b</b> 0.46 ±0.23	<b>a</b> 3.33 ±0.75	<b>b</b> 0.83 ±0.27	<b>ab</b> 1.30 ±0.39	14.69	0.002
<i>Ts</i>	<b>b</b> 0.00 ±0.00	<b>b</b> 0.09 ±0.09	<b>a</b> 1.94 ±0.60	<b>a</b> 1.85 ±0.62	19.71	<0.001

### 2.3. 처리 간 설치류 군집 구조 비교

처리 간 설치류 군집의 구조는 유의하게 다른 것으로 나타났다( $\chi^2=147.99$ ,  $p<0.001$ , Figure 10). 처리구별 군집 구성에서 등줄쥐는 모든 처리구에서 높은 비율을 보였으며, 흰넓적다리붉은쥐와 대륙발쥐는 간벌 1년차에서, 다람쥐는 간벌3, 7년차 처리구에서 상대적으로 높은 비율을 나타냈다.

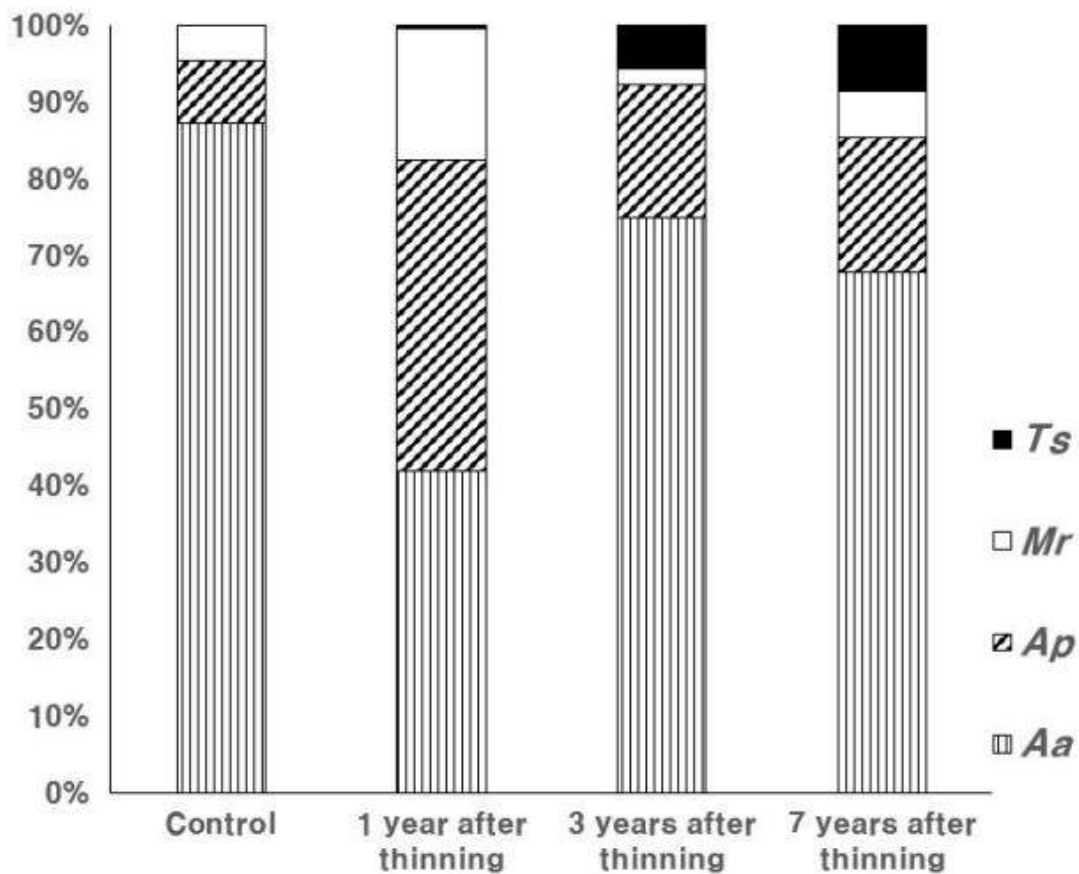


Figure 10. Proportions of rodent species at control and three treatment sites (1 year after thinning, 3 years after thinning, 7 years after thinning)

### 3. 설치류 종별 서식지 환경 변수 분석

설치류의 종별 주요 서식지 환경 변수를 비교해 보고자 서식지 환경 조사를 통해 얻은 서식지 변수 중 14개의 물리적 환경 변수와 설치류 종별 포획률 간에 정준상관분석을 실시하였다.

정준상관분석 그래프의 해석은 설치류 종간의 거리가 가까울수록 서로 유사한 서식지를 이용하며, 서식지 변수의 화살표가 길수록 더 큰 영향력을 가진다고 할 수 있다. 또한, 서식지 변수(화살표)간에는 각이 커질수록 연관성이 감소하며( $<90^\circ$ : 양의 상관관계,  $0^\circ$ : 관계없음,  $>90^\circ$ : 음의 상관관계), 종에서 서식지 변수 방향으로 수직으로 선을 그었을 때 중심점에서 멀리 떨어질수록 그 종과 강한 연관성을 가진 서식지 변수라고 할 수 있다(Legendre and Legendre 1998).

분석 결과, 종별로 서식하는 환경이 다른 것으로 나타났다(Figure 11). 등줄쥐(*Aa*)는 그래프의 중심에 가장 가까이 위치하였으며 높은 초본층 피도(HC), 암석피도(RC)와 높은 연관성을 보였다. 흰넓적다리붉은쥐(*Ap*)는 상층피도(TC, STC)가 높고 수목잔존물의 부피(VolCWD)가 많은 서식지와 높은 연관성을 보였으며, 대륙밭쥐(*Mr*) 또한 상층피도(TC, STC)가 높고 수목잔존물의 부피(VolCWD)가 많은 서식지와 높은 연관성을 나타냈다. 다람쥐(*Ts*)는 관목(SS)이 많고 관목층피도(SC)가 높으며, 낙엽층(LD)이 깊은 서식지와 높은 연관성을 보였다.

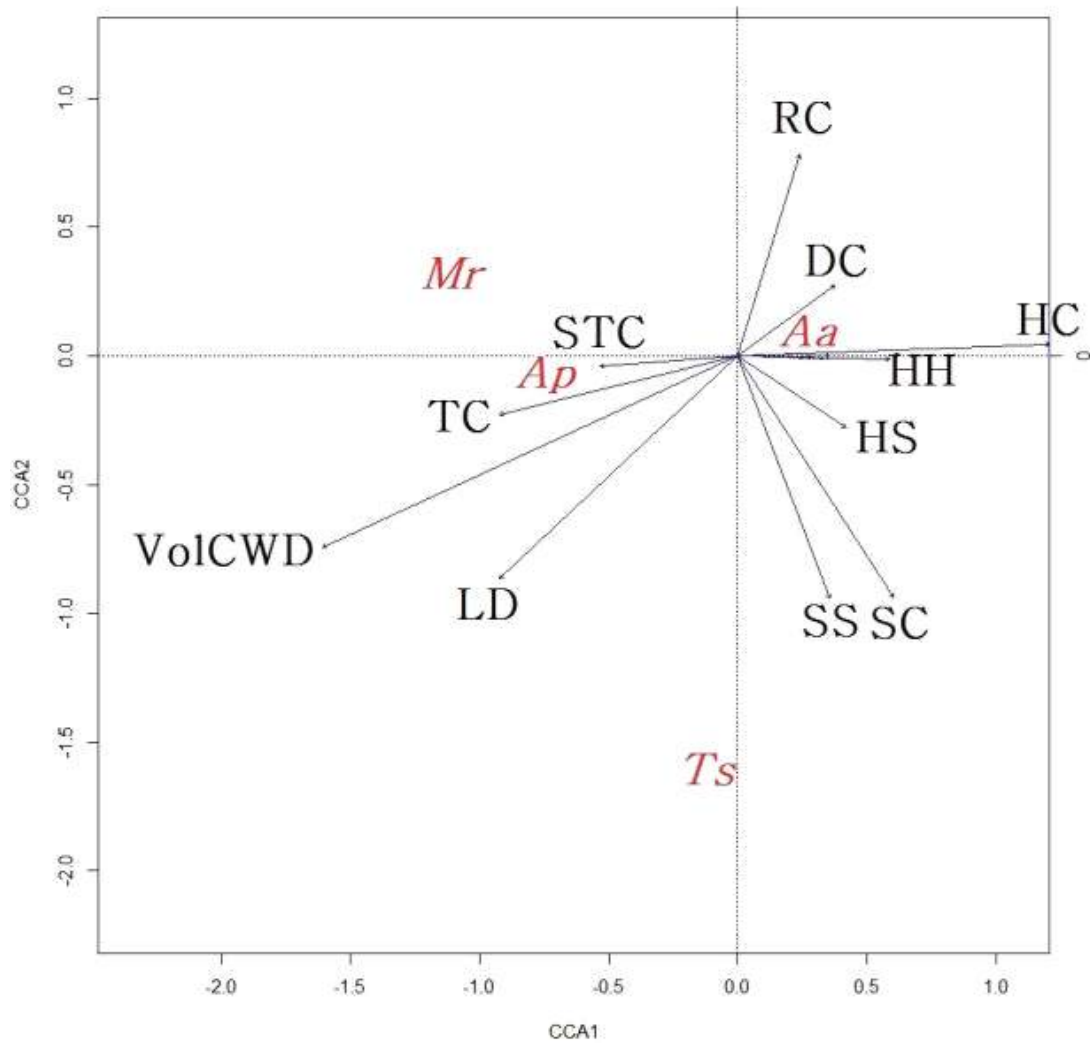


Figure 11. Canonical correspondence analysis ordination diagram of trapping rate of each rodent species and habitat variables (arrows). Abbreviations of rodent species and habitat variables, *Aa*: *Apodemus agrarius*, *Ap*: *Apodemus peninsulae*, *Mr*: *Myodes regulus*, *Ts*: *Tamias sibiricus*, TC: coverage of tree layer, STC: coverage of subtree layer, SC: coverage of shrub layer, HC: coverage of herbaceous plant layer, RC: coverage of rock, SS: shrub stems, SH: shrub height, HS: herbaceous plant stems, HH: herbaceous plant height, TBA: tree basal area, TH: tree height, VolCWD: volume of CWD, DC: decay class of CWD, LD: litter layer depth

## V. 고찰

### 1. 간벌 후 시간 경과에 따른 서식지 구조 변화

대조구와 간벌1년차, 간벌3년차, 간벌7년차 처리구의 서식지 구조는 각각 다르게 나타났다. 교목의 경우 수관비율을 제외하고 다른 변수에 대해 통계적으로 유의차를 보이지 않았으나 교목 수와 흉고단면적, 수관면적은 대조구에서 가장 높았으며, 수고와 흉고직경은 가장 낮았다. 대조구는 간벌이 시행되지 않아 임분의 수목 밀도가 높기 때문에 흉고단면적과 수관면적이 가장 높게 나타났다(Chan et al. 2006, Harrington 2011). 반면에, 대조구의 수고와 흉고직경은 가장 낮았으며 이는 임목 간의 경쟁으로 인한 낮은 생장률 때문인 것으로 판단된다(Latham and Tappeiner 2002). 간벌1, 3, 7년차 처리구는 대조구에 비해 높은 흉고직경과 수고를 나타냈는데, 이는 낮아진 임분 밀도로 인해 빛과 수분, 양분에 대한 임목 간의 경쟁이 감소하여 교목의 생장이 촉진된 결과로 판단된다(Sullivan et al. 2001). 수관비율은 간벌3년차에서 대조구, 간벌1년차 처리구에 비해 높았으며 간벌 이후 임분 밀도가 감소하고 광량이 증가함에 따라 가지의 생장이 증가하였을 것으로 생각된다(Varmola and Salminen 2004).

관목수와 함께 관목층피도는 간벌3년차 처리구에서 가장 높았다. 간벌과 함께 상층수관부의 일부가 제거되고 수관면적이 감소함으로써 산림 내부로 들어오는 광량이 증가하여 하층과 중층식생의 생육 환경이 개선되어 관목층 밀도와 피도가 높아진 것으로 볼 수 있다(Kabakoff and Chazdon 1996). 간벌7년차 처리구에서는 간벌3년차 처리구에 비해 낮은



관목수와 관목층피도, 높은 교목층피도를 보였다. 이는 간벌 이후 낮아진 수관층의 피도가 교목의 생장으로 다시 증가하면서 광량이 줄어들어 중층, 하층식생이 감소했기 때문인 것으로 판단된다(Williams et al. 1965, Gallo et al. 1985, Ottman and Welch 1989, Forcella et al. 1992). 국내의 일본잎갈나무 조림지에서 이루어진 연구(Son et al. 2004a, 2004b)에서도 광량지수와 관목밀도가 간벌 후 4년차에서 대조구와 간벌 후 7년차보다 높은 값을 보였다. 또한, 온대 침엽수림의 douglas-fir의 경우 간벌 후 감소한 수관피도는 3년 후 빠르게 증가하며 초본피도는 5년까지 증가 후 감소하는 것으로 나타났다(Chan et al. 2006). Sitka spruce와 western hemlock을 대상으로 한 연구에서는 하층식생의 피도는 간벌 후 4년까지 증가 후 감소하며 7년 후 간벌 전 수준에 이르게 된다고 하였다(Cole et al. 2010). 따라서 일본잎갈나무 조림지의 하층식생 밀도는 간벌 후 3~7년 사이에 가장 높을 것으로 판단되며, 자료의 연속성을 위해 추가적인 간벌 처리구 설정과 그에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

수목잔존물의 부피는 처리 간 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았으나 수목잔존물의 수와 부피는 간벌1년차 처리구에서 가장 높았으며 간벌3, 7년차 처리구에서는 다소 낮았다. 부후 정도 또한 통계적 차이는 없었으나 간벌1년차 처리구에서 가장 낮았으며 간벌3, 7년차 처리구에서는 높았다. 간벌에 따른 수목잔존물의 변화에 관한 연구에서 간벌 후 부후 정도가 낮은 수목잔존물의 부피와 생물량이 증가하고 부후 정도가 높은 수목잔존물은 감소하는 것으로 나타났으며(Fraver et al. 2002), 수와 부피는 목재 부후로 인해 감소하는 양상을 보였다(Homyack et al. 2004). 따라서 간벌은 수목잔존물을 증가시키며 시간 경과에 따라 목재 부후가 진행되어 수목잔존물의 수와 부피는 감소하는 것으로 판단된다.

## 2. 간벌 후 시간 경과에 따른 설치류 군집 구조 변화

처리별 중 우점도와 포획률 비교, 정준상관분석을 통한 종별 서식지 환경을 통해 간벌 이후 설치류 군집구조의 변화를 파악하였다. 설치류 포획개체수는 대조구에 비해 간벌이 실시된 처리구에서 높은 값을 보였다. 이는 간벌 이후 설치류 풍부도에 관한 연구와 유사하게 나타났으며 (Christian et al. 1996, Garman 2001, Suzuki and Hayes 2003, Homyack et al. 2005), 간벌이 수관층을 개방시키고 중층, 하층식생의 구조적인 다양도를 증가시켜 광엽초본(forb)이나 풀씨(grass seed)와 같은 먹이원이 증가하였기 때문인 것으로 생각된다(Suzuki and Hayes 2003). 또한 수목잔존물의 증가로 설치류가 포식자로부터 회피할 수 있는 커버가 늘어났으며(Lee et al. 2008) 먹이원이 되는 절지동물(arthropod)의 증가(Suzuki and Hayes 2003)로 인해 간벌 후 설치류의 개체수가 증가한 것으로 판단된다. 향후 먹이원 조사와 개체군 내 임신 개체의 비율, 수컷 개체의 정소 크기 조사를 통한 번식 지표를 산출하여 비교할 필요성이 있을 것으로 판단된다.

설치류 군집의 서식지 환경은 종별로 다르게 나타났다. 등줄쥐는 정준상관분석 결과(Figure 11), 중심에 가장 가까이 위치하며 높은 초본층, 암석피도와 높은 연관성을 보였다. 이는 등줄쥐는 종종 숲의 가장자리와 서식지 임연부, 농경지에까지 출현하는 서식지 일반종(habitat generalist)이며(Szacki and Liro 1991, Kaneko et al. 2008, Schlitter et al. 2008, Fischer and Schroder 2014), 하층식생이 풍부한 개활성의 환경을 선호하기 때문인 것으로 판단된다(Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a). 흰넓적다리붉은쥐는 상층피도(교목층, 아교목층피도)가 높고 수목잔존물의 부피가 많은 서식지와 높은 연관성을 보였다. 이는 흰넓적다리붉은쥐

는 산림성 설치류이며 수목잔존물이 많은 서식지를 이용하기 때문인 것으로 생각된다(Rhim and Lee 1999, Serizawa et al. 2002, Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a). 대륙밭쥐 또한 상층피도(교목층, 아교목층피도)가 높고 수목잔존물의 부피가 많은 서식지와 높은 연관성을 보였는데 이는 흰넓적다리붉은쥐와 마찬가지로 대륙밭쥐가 산림성 설치류이며 수목잔존물이 많은 서식지와 높은 연관성을 가지기 때문인 것으로 판단된다(Rhim and Lee 1999, Serizawa et al. 2002, Lee et al. 2008, Lee et al. 2012a). 다람쥐는 관목이 많고 관목층피도가 높으며, 낙엽층이 깊은 서식지와 높은 연관성을 보였다. 이는 다람쥐가 관목의 밀도와 피도가 높은 서식지를 이용하기 때문인 것으로 생각된다(Hui and Ke 2013).

설치류 군집 구조는 대조구를 포함한 모든 간벌 처리구에서 다르게 나타났다. 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐는 상대적으로 간벌1년차 처리구에서 높은 우점도와 포획률, 군집 비율을 보였으며 등줄쥐는 낮은 우점도와 포획률, 군집 비율을 나타냈다. 이는 간벌 이후 수목잔존물의 증가로 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐의 서식지가 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 또한 등줄쥐는 흰넓적다리붉은쥐와 같은 속으로 생태적 지위가 유사하며(이 2011), 등줄쥐는 흰넓적다리붉은쥐에 비해 체중(이 2011)과 구조적인 크기(윤 등 2004)가 크다고 알려져 있다. 동소적(sympatric) 지위를 가진 종 간에 몸집의 차이가 있을 경우 일방향성의 먹이갈취(unidirectional pilferage)가 일어난다(Penner and Devenport 2011, Zhang et al. 2014). 생태적 지위가 유사한 설치류 간의 경쟁에 관한 연구에 의하면 몸집이 큰 설치류는 작은 설치류의 먹이 저장고에서 종자를 훔치며 몸집이 작은 설치류는 이에 대응하기 위해 몸집이 큰 설치류가 있을 때 더 많은 종자를 모으거나 저장고에 숨기고 종자를 섭식하는 비율을 증가시킨다(Zhang et al. 2014). 또한, 작은 먹이 저장고 여러 개를

두어 피해 효과를 감소시키기도 한다(Zhang et al. 2014). 등줄쥐와 흰넓적다리붉은쥐 모두 군집 내 일정수준의 비율을 차지하는 것으로 보아 상호 배제(mutually exclusion)가 일어나지 않고 먹이에 대한 경쟁 속에서 공존하는 것으로 판단된다. 등줄쥐는 간벌1년차 비해 간벌3년차 처리구에서 상대적으로 군집 비율이 높았으며 우점도와 포획률 또한 높았다. 이는 하층피도의 증가로 인하여 등줄쥐가 선호하는 개활성의 서식지가 간벌3년차 처리구에서 조성되었기 때문인 것으로 판단된다. 반면에 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐의 군집 비율과 우점도, 포획률은 간벌3년차 처리구에서 상대적으로 낮았는데 이는 수목잔존물이 줄어들어 두 종의 서식지가 감소했기 때문인 것으로 생각된다. 다람쥐는 대조구, 간벌1년차에 비해 간벌3, 7년차 처리구에서 상대적으로 높은 비율을 보였으며 우점도와 포획률 또한 상대적으로 높았다. 이는 관목과 관목층피도의 증가로 인해 간벌3, 7년차 처리구에서 다람쥐의 서식환경이 조성되었기 때문인 것으로 판단된다. Suzuki and Hayes (2003)의 연구에서도 간벌 이후 임분의 하층 초본과 관목의 밀도가 증가하였고, 수관층피도는 감소하였다. 이러한 설치류의 서식지 구조 변화로 초본류의 먹이를 선호하는 종(e.g. *Microtus oregoni*, *Zapus trinotatus*)의 비율이 증가하였으며, 지하균근(hypogeous fungi)을 먹이로 선호하는 종(e.g. *Clethrionomys californicus*)의 비율은 감소하였다. 따라서 설치류의 종별 서식지 환경은 서식지 구조의 변화에 따라 설치류 군집 구조를 변화시키는 것으로 판단된다.

## VI. 결론

간벌의 시업연도가 다른 세 개의 처리구(간벌1년차, 간벌3년차, 간벌7년차)와 미간벌지에서 서식지 구조와 설치류 군집을 비교하고 설치류 군집 구조의 변화를 종별 서식지 환경의 차이를 통해 구명하고자 하였다. 본 연구를 통하여 도출한 결론은 다음과 같다.

1. 간벌 이후 일본잎갈나무 조림지에서 교목 밀도와 수관층 피도는 감소하고, 수목잔존물, 관목층, 초본층 식생의 양과 피도는 증가하였다.

2. 미간벌지인 대조구에서 가장 적은 수의 설치류가 포획되었으며, 각 처리구별로 종별 포획률은 유의한 차이가 나타났다.

3. 연구 대상지역의 서식지 환경과 종별 포획률을 비교하였을 때, 등줄쥐는 서식지 일반종으로 각 환경 변수에 대해 뚜렷한 상관관계를 보이지 않았다. 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐는 상층피도가 높고 수목잔존물이 많은 환경에서 서식하며, 다람쥐는 관목밀도가 높고 낙엽층이 깊은 환경에서 서식하는 것으로 나타났다.

4. 일반종인 등줄쥐는 서식지의 질이 낮은 대조구를 포함한 모든 처리구에서 우점하였으나, 흰넓적다리붉은쥐와 대륙밭쥐의 군집 내 비율은 수관층이 열리고 수목잔존물의 양이 늘어난 간벌 처리구에서 대조구에 비해 상대적으로 높았다. 다람쥐는 관목 밀도와 피도가 높아지는 간벌 3, 7년차 처리구에서 군집 내 비율이 상대적으로 높게 나타났다.

따라서, 본 연구 결과를 통해 일본잎갈나무 조림지에서 간벌 후 시간 경과에 따라 산림환경은 지속적으로 변화하고 이는 설치류 군집에 영향을 미치는 것으로 예상할 수 있다. 향후, 일본잎갈나무 조림지에서 간벌

이후 장기 모니터링을 통하여 산림환경과 설치류 군집의 변화에 대해 비교할 필요성이 있을 것으로 생각된다. 또한, 간벌과 개벌 등의 산림사업 시 설치류 및 야생동물의 다양성을 고려하여 수목잔존물의 존치와 중층, 하층식생의 생육 고려가 필요할 것으로 판단된다.

## 인 용 문 헌

- 국립산림과학원. 2012. 국립산림과학원연구신서 제55호. 경제수종4. 낙엽송. 해든디자인플러스. 서울.
- 기상청 국가기후자료센터. 2015. 봉화기상관측소. [www.kma.go.kr](http://www.kma.go.kr).
- 김갑태, 김회진. 2013. 중왕산 몇 활엽수 종자의 야생동물에 의한 2차 분산. 한국환경생태학회지 27(1): 64-70.
- 김종봉, 이희영. 1990. 한국산 다람쥐 핵형의 비교연구 I. 일반염색과 C-Banding방법에 의한 한국산 청서(*Sciurus vulgaris corea*)와 다람쥐(*Tamias sibiricus asiaticus*)의 핵형분석. 한국동물학회지 33(2): 222-230.
- 김종봉, 이희영. 1994. 한국산 다람쥐 핵형의 비교연구 II. G-banding방법에 의한 한국산 청서(*Sciurus vulgaris coreae*)와 다람쥐(*Tamias sibiricus asiaticus*)의 핵형분석. 한국동물학회지 33(3): 255-259.
- 김진성. 2008. 한국산 다람쥐(*Tamias sibiricus barberi* Johnson & Jones 1955)의 계통분류학적 연구. 충북대학교 대학원 박사학위 논문. 청주.
- 백락주, 송진원, 박광숙, 최영주, 강주일, 이용주. 1997. 야생 설치류의 한타바이러스 감염에 대한 연구. 감염 29(6): 487-497.
- 영주국유림관리소. 2014. 장군봉 전문경영단지 운영 성과 보고서('13년). 남부지방산림청. 영주.
- 원병휘. 1967. 한국동식물도감 제 7권 동물편(포유류). 문교부. 서울.
- 원홍구. 1968. 조선짐승류지. 과학원출판사. 평양.
- 윤명희, 한상훈, 오홍식, 김장근. 2004. 한국의 포유동물. 동방미디어. 서울.
- 윤명희, 한창욱. 2006. 등줄쥐(*Apodemus agrarius*)의 일중휴면에 관한 연구. 생명과학회지 16(4): 618-625.
- 이무영. 2009. 북유라시아의 하늘다람쥐, 청설모, 다람쥐의 계통지리 및 집단유전학적 구조. 서울대학교 대학원 박사학위 논문. 서울.

- 이영순, 김미경, 유병철. 1994. 한국산 다람쥐 간염 바이러스 감염에 관한 병리조직학적 연구. 대한소화기병학회지 26(6): 925-930.
- 이은재, 이우신, 이영근, 이명보, 임신재. 2008. 강원도 삼척 산불피해지역에서 피해목 처리 전과 후 서식환경과 설치류 개체군 특성 차이. 한국임학회지 97(1): 113-117.
- 이은재. 2011. 강원도 삼척 산불피해지역의 우점 설치류 3종의 생태적 특성에 관한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위 논문. 서울.
- 이창배. 2004. 계방산 계곡부에 서식하고 있는 설치류 두 종의 미세서식지 이용 및 니체 패턴에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문. 서울.
- 임신재. 1997. 서식지 구조에 따른 번식기 조류 군집과 소형 포유류 개체군 변화에 관한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위 논문. 서울.
- 임신재, 이주영, 김민지, 박성진, 이은재, 이우신. 2007. 임도 미개설지와 개설지에서 소형 설치류의 차이. 한국환경생태학회 학술발표논문집 2007(1): 105-108.
- 정순정. 1996. 한국산 등줄쥐 *Apodemus agrarius coreae*의 번식에 관한 연구. 경성대학교 대학원 석사학위 논문. 부산.
- 정희석. 2005. 목재용어사전. 서울대학교 출판부. 서울.
- 함의정. 2007. 한국 다람쥐(*Tamias sibiricus barberi*)의 유전적 특색. 충북대학교 대학원 석사학위 논문. 청주.
- Abaturov, B. 1972. Role of burrowing animals in the transport of mineral substances in the soil. Pedobiologia.
- AgroAtlas. 2003. Pests. *Apodemus agrarius* Pallas - black-striped field mouse, Retrieved Nov 28 2015 from [http://www.agroatlas.ru/en/content/pests/Apodemus\\_agrarius/](http://www.agroatlas.ru/en/content/pests/Apodemus_agrarius/).
- Anthony, R. G., E. D. Forsman, G. A. Green, G. Witmer and S. K. Nelson. 1987. Small mammal populations in riparian zones of different-aged coniferous forests. The Murrelet 68(3): 94-102.
- Baek, L. J., K. J. Song, J. W. Song, K. M. Chung, E. Y. Kho, K. S.



- Park and Y. J. Lee. 1998. Serological study on hantavirus infection of wild rodents captured in the mountains of Kangwon province in Korea. *Journal of the Korean Society of Virology* 28(3): 287–293.
- Baek, L. J., K. S. Kim, K. J. Song, E. Y. Go, K. M. Jung, K. S. Park, Y. J. Lee and J. W. Song. 1999. Seroepidemiological study on hantavirus infection of wild rodents captured in the mountainous areas of Korea. *Journal of the Korean Society of Virology* 29(1): 1–9.
- Baek, L. J., H. Kariwa, K. Lokugamage, K. Yoshimatsu, J. Arikawa, I. Takashima, J. I. Kang, S. S. Moon, S. Y. Chung, E. J. Kim, H. J. Kang, K. J. Song, T. A. Klein, R. Yanagihara and J. W. Song. 2006. Soochong virus: an antigenically and genetically distinct hantavirus isolated from *Apodemus peninsulae* in Korea. *Journal of medical virology* 78(2): 290–297.
- Bakker, E., H. Olff, M. Boekhoff, J. Gleichman and F. Berendse. 2004. Impact of herbivores on nitrogen cycling: contrasting effects of small and large species. *Oecologia* 138(1): 91–101.
- Bellinva, E.. 2004. A phylogenetic study of the genus *Apodemus* by sequencing the mitochondrial DNA control region. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research* 42(4): 289–297.
- Borremans, B., N. K. Hughes, J. Reijnders, V. Sluydts, A. A. Katakweba, L. S. Mulungu, C. A. Sabuni, R. H. Makundi and H. Leirs. 2014. Happily together forever: temporal variation in spatial patterns and complete lack of territoriality in a promiscuous rodent. *Population Ecology* 56(1): 109–118.
- Britton-Davidian, J., M. Vahdati, F. Benmehdi, P. Gros, V. Nance, H. Croset, S. Guerassimov and C. Triantaphyllidis. 1991. Genetic

- differentiation in four species of *Apodemus* from southern Europe: *A. sylvaticus*, *A. flavicollis*, *A. agrarius* and *A. mystacinus* (Muridae, Rodentia). *Zeitschrift für Säugetierkunde* 56(1): 25–33.
- Campbell, T. L., P. J. Lewis, M. L. Thies and J. K. Williams. 2012. A Geographic Information Systems (GIS) based analysis of modern south African rodent distributions, habitat use, and environmental tolerances. *Ecology and evolution* 2(11): 2881–2894.
- Chan, S. S., D. J. Larson, K. G. Maas-Hebner, W. H. Emmingham, S. R. Johnston and D. A. Mikowski. 2006. Overstory and understory development in thinned and underplanted Oregon Coast Range douglas-fir stands. *Canadian journal of forest research* 36(10): 2696–2711.
- Chernousova, N.. 2010. Population dynamics of small mammal species in urbanized areas. *Contemporary problems of ecology* 3(1): 108–113.
- Christian, D. P., M. Reuvers-House, J. M. Hanowski, G. J. Niemi, J. G. Blake and W. E. Berguson. 1996. Effects of mechanical strip thinning of aspen on small mammals and breeding birds in northern Minnesota, USA. *Canadian journal of forest research* 26(7): 1284–1294.
- Cole, E. C., T. A. Hanley and M. Newton. 2010. Influence of precommercial thinning on understory vegetation of young-growth sitka spruce forests in southeastern Alaska. *Canadian journal of forest research* 40(4): 619–628.
- Converse, S. J., W. M. Block and G. C. White. 2006. Small mammal population and habitat responses to forest thinning and prescribed fire. *Forest Ecology and Management* 228(1): 263–273.

- Coppeto, S. A., D. A. Kelt, D. H. Van Vuren, J. A. Wilson and S. Bigelow. 2006. Habitat associations of small mammals at two spatial scales in the northern Sierra Nevada. *Journal of Mammalogy* 87(2): 402–413.
- Dalmagro, A. D. and E. M. Vieira. 2005. Patterns of habitat utilization of small rodents in an area of Araucaria forest in southern Brazil. *Austral Ecology* 30(4): 353–362.
- Davis, D. E.. 1957. Observations on the abundance of Korean mice. *Journal of Mammalogy* 38(3): 374–377.
- Dueser, R. D. and H. H. Shugart Jr.. 1978. Microhabitats in a forest-floor small mammal fauna. *Ecology* 59(1): 89–98.
- Dunstone, N., L. Durbin, I. Wyllie, R. Freer, G. A. Jamett, M. Mazzolli and S. Rose. 2002. Spatial organization, ranging behaviour and habitat use of the kodkod (*Oncifelis guigna*) in southern Chile. *Journal of Zoology* 257(1): 1–11.
- Ecke, F., O. Löfgren and D. Sörlin. 2002. Population dynamics of small mammals in relation to forest age and structural habitat factors in northern Sweden. *Journal of Applied Ecology* 39(5): 781–792.
- Emsens, W. J., L. Suselbeek, B. T. Hirsch, R. Kays, A. J. Winkelhagen and P. A. Jansen. 2013. Effects of food availability on space and refuge use by a neotropical scatterhoarding rodent. *Biotropica* 45(1): 88–93.
- Enkhbold, N., S. Dazhao, N. Batsaikhan, D. Wang, D. Tseveendorj and B. Erdenetuya. 2015. Study on the distribution and habitat characteristics of Brandt's vole. *Mongolian Journal of Agricultural Sciences* 13(2): 88–95.
- Eo, S. H., S. J. Rhim, W. S. Lee and J. P. Carroll. 2011. Genetic diversity and population structure of the Korean field mouse

- (*Apodumus peninsulae*) in south Korea: from 17 previously and newly developed microsatellite markers. *Genes and Genomics* 33(4): 445–449.
- Filippucci, M. G., M. Macholan and J. R. Michaux. 2002. Genetic variation and evolution in the genus *Apodemus* (Muridae: Rodentia). *Biological Journal of the Linnean Society* 75(3): 395–419.
- Fischer, C. and B. Schroder. 2014. Predicting spatial and temporal habitat use of rodents in a highly intensive agricultural area. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 189: 145–153.
- Flavicollis, O. A. 2006. Spatial organization and home range of *Apodemus flavicollis* and *A. agrarius* on Mt. Avala, Serbia. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 52(1): 81–96.
- Forcella, F., M. E. Westgate and D. D. Warnes. 1992. Effect of row width on herbicide and cultivation requirements in row crops. *American Journal of Alternative Agriculture* 7(4): 161–167.
- Ford–Robertson, F. C.. 1971. Terminology of forest science, technology, practice, and products (ed. Helms, J. A.). The dictionary of forestry. Society of American Foresters, Bethesda, MD.
- Fraver, S., R. G. Wagner and M. Day. 2002. Dynamics of coarse woody debris following gap harvesting in the Acadian forest of central Maine, USA. *Canadian Journal of Forest Research* 32(12): 2094–2105.
- Fretwell, S. D. and H. L. Lucas Jr.. 1969. On territorial behavior and other factors influencing habitat distribution in birds. *Acta biotheoretica* 19(1): 16–36.
- Fujimaki, Y. and T. Kuwahata. 1984. Study on wild Murid rodents in Hokkaido (ed. Ota, K.). Hokkaido University Press, Sapporo. pp.

- 47–76 (in Japanese summary).
- Fuller, A. K., D. J. Harrison and H. J. Lachowski. 2004. Stand scale effects of partial harvesting and clearcutting on small mammals and forest structure. *Forest Ecology and Management* 191(1): 373–386.
- Gallo, K. P., C. S. T. Daughtry and M. E. Bauer. 1985. Spectral estimation of absorbed photosynthetically active radiation in maize canopies. *Remote Sensing Environ* 7(3): 221–232.
- Garman, S. L. 2001. Response of ground-dwelling vertebrates to thinning young stands: the young stand thinning and diversity study. MS thesis. Oregon State University, Corvallis, OR.
- Garshelis, D. L.. 2000. Delusions in habitat evaluation: measuring use, selection, and importance. *Research techniques in animal ecology: controversies and consequences*. Columbia University Press, New York, NY. pp. 111–164.
- Gentry, J. B., E. P. Odum, M. Mason, V. Nabholz, S. Marshall and J. T. McGinnis. 1968. Effect of altitude and forest manipulation on relative abundance of small mammals. *Journal of Mammalogy* 49(3): 539–541.
- Gibb, H., J. P. Ball, T. Johansson, O. Atlegrim, J. Hjältén and K. Danell. 2005. Effects of management on coarse woody debris volume and composition in boreal forests in northern Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 20(3): 213–222.
- Gill, R., A. Johnson, A. Francis, K. Hiscocks and A. Peace. 1996. Changes in roe deer (*Capreolus capreolus* L.) population density in response to forest habitat succession. *Forest Ecology and Management* 88(1): 31–41.
- Gliwicz, J.. 1981. Competitive interactions within a forest rodent community in central Poland. *Oikos* 37(3): 353–362.

- Hamm, K. A. and L. V. Diller. 2009. Forest management effects on abundance of woodrats in northern California. *Northwestern Naturalist* 90(2): 97-106.
- Hayes, J. P., S. S. Chan, W. H. Emmingham, J. C. Tappeiner, L. D. Kellogg and J. D. Bailey. 1997. Wildlife response to thinning young forests in the Pacific Northwest. *Journal of Forestry* 95: 28-33.
- Harrington, T. B.. 2011. Overstory and understory relationships in longleaf pine plantations 14 years after thinning and woody control. *Canadian Journal of Forest Research* 41(12): 2301-2314.
- Harrison, J.. 1965. The effect of forest clearance on small mammals. *Proceedings of the conference on conservation of nature and natural resources in tropical southeast Asia*. Bangkok, Thailand. pp. 153-158.
- Holbrook, S. J.. 1979. Vegetational affinities, arboreal activity, and coexistence of three species of rodents. *Journal of Mammalogy* 60(3): 528-542.
- Hole, F. D.. 1981. Effects of animals on soil. *Geoderma* 25(1): 75-112.
- Homyack, J. A.. 2003. Effects of precommercial thinning on snowshoe hares, small mammals, and forest structure in northern Maine. MS thesis. West Virginia University. Citeseer, PA.
- Homyack, J. A., D. J. Harrison and W. B. Krohn. 2004. Structural differences between precommercially thinned and unthinned conifer stands. *Forest ecology and management* 194(1): 131-143.
- Homyack, J. A., D. J. Harrison and W. B. Krohn. 2005. Long-term effects of precommercial thinning on small mammals in northern Maine. *Forest Ecology and Management* 205(1): 43-57.
- Hui, Y. and R. Ke. 2013. Wintering habitat selection of Siberian chipmunk. *Chinese Journal of Wildlife* 3: 3.

- Hunter, M. L.. 1990. Wildlife, forests, and forestry: principles of managing forests for biological diversity. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Ishii, N.. 2005. Siberian chipmunk *Tamias sibiricus* (Laxmann, 1769) in a guide to the mammals of Japan, Reviseded (ed. Abe, H.). Tokai University Press, Hadano. pp. 121 (in Japanese and English summary).
- James, M. R.. 2011. Mammalogy Techniques Manual, 2nd edition. Lulu, Raleigh, NC.
- Jeon, M. G., J. Y. Kim and Y. C. Park. 2015. Phylogenetic analysis of the complete mitochondrial genome of the Korean field mouse *Apodemus peninsulae* (Rodentia, Murinae) from China. Mitochondrial DNA 26(0): 1-2.
- Jiang, J. F., W. Y. Zhang, K. Yao, X. M. Wu, S. Q. Zuo, L. Zhan, P. H. Zhang and W. C. Cao. 2007. A new hantaan-like virus in rodents (*Apodemus peninsulae*) from northeastern China. Virus research 130(1): 292-295.
- Jo, Y. S., H. Seomun and J. T. Baccus. 2014. Habitat and food utilization of the Siberian chipmunk, *Tamias sibiricus*, in Korea. Acta theriologica 59(4): 589-594.
- Jones, J. K. and A. A. Barber. 1957. Home ranges and populations of small mammals in central Korea. Journal of Mammalogy 38(3): 377-392.
- Jorgensen, E. E. and S. Demarais. 1999. Spatial scale dependence of rodent habitat use. Journal of Mammalogy 80(2): 421-429.
- Kabakoff, R. P. and R. L. Chazdon. 1996. Effects of canopy species dominance on understorey light availability in low-elevation secondary forest stands in Costa Rica. Journal of Tropical Ecology 12(6): 779-788.

- Kaneko, Y.. 1990. Identification and some morphological characters of *Clethrionomys rufocanus* and *Eothenomys regulus* from USSR, northeast China, and Korea in comparison with *C. rufocanus* from Finland. Journal of the Mammalogical Society of Japan 14(2): 129-148.
- Kaneko, Y.. 2005. Rodentia in a guide to the mammals of Japan, Reviseded (ed. Abe, H.). Tokai University Press, Hanado. pp. 115-146 (in Japanese and English summary).
- Kaneko, Y., B. Krystufek, I. Zagarondnyuk, V. Vohralík, N. Batsaikhan, D. Avirmedand and G. Sukhchuluun. 2008. *Apodemus agrarius*, IUCN 2012. IUCN redlist of threatened species, Version 2012. 2. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) (accessed 01. 12. 15).
- Kaneko, Y.. 2012. Horizontal and elevational distributions of *Apodemus peninsulae*, *A. draco* and *A. latronum*. Mammal Study 37(33): 183-204.
- Kang, J. H., S. H. Son, K. J. Kim, H. S. Hwang and S. J. Rhim. 2013. Characteristics of small mammal populations in thinned and clearcut stands in Japanese larch (*Larix leptolepis*) plantations. Forest Science and Technology 9(3): 151-155.
- Kawamichi, M.. 1980. Food, food hoarding and seasonal changes of Siberian chipmunk. Japanese Journal of Ecology 30: 211-220.
- Kawamichi, M.. 1989. Nest structure dynamics and seasonal use of nests by Siberian chipmunk (*Eutamias sibiricus*). Journal of Mammalogy 70(1): 44-57.
- Kawamichi, M.. 1996. Ecological factors affecting annual variation in commencement of hibernation in wild chipmunks (*Tamias sibiricus*). Journal of Mammalogy 77(3): 731-744.
- Kawamichi, M.. 2000. Chipmunk in Hibernation mammals (eds.



- Kawamichi, T., N. Kondo and T. Morita). University of Tokyo Press, Tokyo. pp. 143–161 (in Japanese summary).
- Kawamichi, T. and M. Kawamichi. 1993. Gestation period and litter size of Siberian chipmunk *Eutamias sibiricus lineatus* in Hokkaido, northern Japan. Journal of the Mammalogical Society of Japan 18(2): 105–109.
- Kawamichi, T.. 1996. The encyclopedia of animals in Japan. vol. 1. Mammals. Heibonsha Limited Publishers, Tokyo. pp. 156.
- Kent, M.. 2012. Vegetation description and data analysis: a practical approach, 2nd edition. Wiley–Blackwell, Chuchester.
- Kim, H. C., S. T. Chong, W. J. Sames, P. V. Nunn, S. P. Wolf, R. G. Robbins and T. A. Klein. 2010. Tick surveillance of small mammals captured in Gyeonggi and Gangwon Provinces, Republic of Korea, 2004–2008. Systematic and Applied Acarology 15: 100–108.
- Kim, H. R. and Park, Y. C. 2012. The complete mitochondrial genome of the Korean red-backed vole, *Myodes regulus* (Rodentia, Murinae) from Korea. Mitochondrial DNA 23(2): 148–150.
- Kirkland, Jr. G. L., H. W. Snoddy and T. L. Amsler. 1996. Impact of fire on small mammals and amphibians in a central Appalachian deciduous forest. The American Midland Naturalist 135(2): 253–260.
- Klempa, B., H. A. Schmidt, R. Ulrich, S. Kaluz, M. Labuda, H. Meisel, B. Hjelle and D. H. Krüger. 2003. Genetic interaction between distinct Dobrava hantavirus subtypes in *Apodemus agrarius* and *A. flavicollis* in nature. Journal of virology 77(1): 804–809.
- Klempa, B., M. Stanko, M. Labuda, R. Ulrich, H. Meisel and D. H. Krüger. 2005. Central European Dobrava hantavirus isolate from

- a striped field mouse (*Apodemus agrarius*). Journal of clinical microbiology 43(6): 2756–2763.
- Koh, H. S.. 1986. Systematic studies of Korean rodents: II. A chromosome analysis in Korean field mice, *Apodemus peninsulae peninsulae* Thomas (Muridae, Rodentia), from Mungyong, with the comparison of morphometric characters of these Korean field mice to sympatric striped field mice, *A. agrarius coreae* Thomas. Korean Journal of Systematic Zoology 2(1): 1–10.
- Koh, H. S.. 1988. Systematic studies of Korean rodents: IV. Morphometric and chromosomal analyses of two species of the genus *Apodemus* (Muridae). Korean Journal of Systematic Zoology 42: 103–120.
- Koh, H. S.. 1989. Systematic studies of Korean rodents. V. Morphometric and chromosomal analyses on island populations of striped field mice (*Apodemus agrarius coreae*) in southwestern coasts of the Korean peninsula. Animal Systematics, Evolution and Diversity 5(1): 1–12.
- Koh, H. S.. 1994. Systematic studies on Korean rodents. VIII. Analyses of morphometric characters, chromosomal karyotype, and mitochondrial DNA restriction fragments in Siberian chipmunks from Korea (*Tamias sibiricus barberi* Johnson and Jones), with the comparison of morphometric characters of Siberian chipmunks from Manchuria (*Tamias sibiricus orientalis* Bonhote). Korean Journal of Systematic Zoology 10(2): 231–243.
- Koh, H. S., W. J. Lee and T. D. Kocher. 2000. The genetic relationships of two subspecies of striped field mice, *Apodemus agrarius coreae* and *Apodemus agrarius chejuensis*. Heredity 85(1): 30–36.
- Koh, H. S., J. Wang, B. K. Lee, B. G. Yang, S. W. Heo, K. H. Jang

- and T. Y. Chun. 2009. A phylogroup of the Siberian chipmunk from Korea (*Tamias sibiricus barberi*) revealed from the mitochondrial DNA cytochrome b gene. *Biochemical genetics* 47(1): 1–7.
- Koh, H. S., B. K. Yang, B. K. Lee, K. H. Jang, D. Bazarsad and N. J. Park. 2010a. Genetic distinctness of the Korean red-backed vole (*Myodes regulus*) from Korea, revealed by the mitochondrial DNA control region. *Animal Systematics, Evolution and Diversity* 26(3): 183–186.
- Koh, H. S., M. Zhang, D. Bayarlkhangva, E. J. Ham, J. S. Kim, K. H. Jang and N. J. Park. 2010b. Concordant genetic distinctness of the phylogroup of the Siberian chipmunk from the Korean Peninsula (*Tamias sibiricus barberi*), reexamined with nuclear DNA c-myc gene exon 2 and mtDNA control region sequences. *Biochemical genetics* 48(7): 696–705.
- Koh, H. S., B. K. Yang, S. W. Heo, K. H. Jang and S. T. In. 2011. Genetic distinctiveness of the Korean red-backed vole (*Myodes regulus*) from Korea, revealed by mitochondrial cytochrome b gene sequences. *Biochemical genetics* 49(3): 153–160.
- Kruskal, W. H. and W. A. Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47(260): 583–621.
- Lacher, Jr. T. E. and C. J. Alho. 1989. Microhabitat use among small mammals in the Brazilian Pantanal. *Journal of Mammalogy* 70(2): 396–401.
- Latham, P. and J. Tappeiner. 2002. Response of old-growth conifers to reduction in stand density in western Oregon forests. *Tree Physiology* 22(2–3): 137–146.
- Lee, E. J., W. S. Lee and S. J. Rhim. 2008. Characteristics of small

- rodent populations in post-fire silvicultural management stands within pine forest. *Forest Ecology and Management* 255(5): 1418-1422.
- Lee, E. J., S. J. Rhim, S. H. Son and W. S. Lee. 2012a. Differences in small mammal and stand structures between unburned and burned pine stands subjected to two different post-fire silvicultural management practices. *Annales Zoologici ennici* 49(3): 129-138.
- Lee, E. J., S. J. Rhim and W. S. Lee. 2012b. Seasonal movements and home range sizes of Korean field mouse *Apodemus peninsulae* in unburned and post-fire pine planted stands within a pine forest. *Journal of Animal and Veterinary Advances* 11(20): 3834-3839.
- Lee, H. W., P. W. Lee and K. M. Johnson. 1978. Isolation of the etiologic agent of Korean hemorrhagic fever. *Journal of infectious diseases* 137(3): 298-308.
- Lee, H. W., P. W. Lee, L. J. Baek, C. K. Song and I. W. Seong. 1981. Intraspecific transmission of hantaan virus, etiologic agent of Korean hemorrhagic fever, in the rodent *Apodemus agrarius*. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 30(5): 1106-1112.
- Lee, J. G., S. H. Gu, L. J. Baek, O. S. Shin, K. S. Park, H. C. Kim, T. A. Klein, R. Yanagihara and J. W. Song. 2014. Muju virus, harbored by *Myodes regulus* in Korea, might represent a genetic variant of Puumala virus, the prototype arvicolid rodent-borne hantavirus. *Viruses* 6(4): 1701-1714.
- Legendre P. and L. F. Legendre. 1998. *Numerical ecology*, 2nd edition. Elsevier Science B. V., Amsterdam.
- Li, H. J. and Z. B. Zhang. 2003. Effect of rodents on acorn dispersal

- and survival of the Liaodong oak (*Quercus liaotungensis* Koidz.). Forest Ecology and Management 176(1): 387–396.
- Li, H. J. and Z. B. Zhang. 2007. Effects of mast seeding and rodent abundance on seed predation and dispersal by rodents in *Prunus armeniaca* (Rosaceae). Forest Ecology and Management 242(2): 511–517.
- Lima, D. O., G. M. Pinho and F. A. Fernandez. 2016. Spatial patterns of the semi-aquatic rodent *Nectomys squamipes* in Atlantic forest streams. Journal of Natural History 50(7–8): 497–511.
- Liro, A. and J. Szacki. 1987. Movements of field mice *Apodemus agrarius* (Pallas) in a suburban mosaic of habitats. Oecologia 74(3): 438–440.
- Liu, X., F. Wei, M. Li, X. Jiang, Z. Feng and J. Hu. 2004. Molecular phylogeny and taxonomy of wood mice (genus *Apodemus* Kaup, 1829) based on complete mtDNA cytochrome b sequences, with emphasis on Chinese species. Molecular phylogenetics and evolution 33(1): 1–15.
- Lokugamage, K., H. Kariwa, D. Hayasaka, B. Z. Cui, T. Iwasaki, N. Lokugamage, L. I. Ivanov, V. I. Volkov, V. A. Demenev, R. Slonova, G. Kompanets, T. Kushnaryona, T. Kurata, K. Maeda, K. Araki, T. Mizutani, K. Yoshmatsu, J. Arikawa and I. Takashima. 2002. Genetic characterization of hantaviruses transmitted by the Korean field mouse (*Apodemus peninsulae*), Far East Russia. Emerging infectious diseases 8(8): 768–776.
- Lu, J. Q. and Z. B. Zhang. 2004. Effects of habitat and season on removal and hoarding of seeds of wild apricot (*Prunus armeniaca*) by small rodents. Acta Oecologica 26(3): 247–254.
- Lu, J. Q. and Z. B. Zhang. 2005. Food hoarding behaviour of large field mouse *Apodemus peninsulae*. Acta theriologica 50(1):

51–58.

- Maeda, M., B. Igarashi, and S. Mizushima. 1984. Study on wild murid rodents in Hokkaido (ed. Ota. K.). Hokkaido University Press, Sapporo. pp. 119–138 (in Japanese summary).
- Makova, K., J. Patton, E. Y. Krysanov, R. Chesser and R. Baker. 1998. Microsatellite markers in wood mouse and striped field mouse (genus *Apodemus*). *Molecular ecology* 7(2): 247–248.
- Marmet, J., B. Pisanu and J. L. Chapuis. 2009. Home range, range overlap, and site fidelity of introduced Siberian chipmunks in a suburban French forest. *European journal of wildlife research* 55(5): 497–504.
- Marmet, J., B. Pisanu and J. L. Chapuis. 2011. Natal dispersal of introduced Siberian chipmunks, *Tamias sibiricus*, in a suburban forest. *Journal of ethology* 29(1): 23–29.
- Marmet, J., B. Pisanu, J. L. Chapuis, G. Jacob and E. Baudry. 2012. Factors affecting male and female reproductive success in a chipmunk (*Tamias sibiricus*) with a scramble competition mating system. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 66(11): 1449–1457.
- Marshall, D. D. 1990. The effects of thinning on stand and tree growth in a young high site of Douglas–fir in western Oregon. Ph.D thesis. Oregon State University, Corvallis, OG.
- Marsot, M., M. Sigaud, J. Chapuis, E. Ferquel, M. Cornet and G. Vourch. 2011. Introduced Siberian chipmunks (*Tamias sibiricus barberi*) harbor more-diverse *Borrelia burgdorferi* sensu lato genospecies than native bank voles (*Myodes glareolus*). *Applied and environmental microbiology* 77(16): 5716–5721.
- Marsot, M., J. L. Chapuis, P. Gasqui, A. Dozières, S. Masségli, B. Pisanu, E. Ferquel and G. Vourc’h. 2013. Introduced Siberian chipmunks (*Tamias sibiricus barberi*) contribute more to Lyme

- borreliosis risk than native reservoir rodents. PLoSone 8(1): e55377.
- Masaki, M., C. Koshimoto, K. Tsuchiya, A. Nishiwaki and T. Morita. 2005. Body temperature profiles of the Korean field mouse *Apodemus peninsulae* during winter aggregation. Mammal Study 30(1): 33-40.
- Maser, C., J. M. Trappe and R. A. Nussbaum. 1978. Fungal-small mammal interrelationships with emphasis on Oregon coniferous forests. Ecology 59(4): 799-809.
- Maser, C., R. F. Tarrant, J. M. Trappe and J. F. Franklin. 1988. From the forest to the sea: a study of fallen trees, general technical report PNW-GTR-229, USDA, Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Portland, OR.
- McCay, T. S. and M. J. Komoroski. 2004. Demographic responses of shrews to removal of coarse woody debris in a managed pine forest. Forest Ecology and Management 189(1): 387-395.
- Meharg, A. A., R. F. Shore, M. C. French and D. Osborn. 1997. Dioxin and furan residues in wood mice (*Apodemus sylvaticus*) following a large scale polyvinylchloride (PVC) fire. Environmental Pollution 97(3): 213-220.
- Meliyo, J. L., B. H. Massawe, B. M. Msanya, D. N. Kimaro, P. Hieronimo, L. S. Mulungu, N. I. Kihupi, J. A. Deckers, H. Gulinck and H. Leirs. 2014. Landform and surface attributes for prediction of rodent burrows in the Western Usambara Mountains, Tanzania. Tanzania Journal of Health Research 16(3).
- Mengak, M. T. and D. C. Guynn. 2003. Small mammal microhabitat use on young loblolly pine regeneration areas. Forest Ecology and Management 173(1): 309-317.
- Michal, B. and Z. Rafal. 2014. Responses of small mammals to

- clear-cutting in temperate and boreal forests of Europe: a meta-analysis and review. *European Journal of Forest Research* 133(1): 1-11.
- Miklos, P. and D. Ziak. 2002. Microhabitat selection by three small mammal species in oak-elm forest. *Folia zoologica* 51(4): 275-288.
- Moore, J. E., A. B. McEuen, R. K. Swihart, T. A. Contreras and M. A. Steele. 2007. Determinants of seed removal distance by scatter-hoarding rodents in deciduous forests. *Ecology* 88(10): 2529-2540.
- Morris, D. W. 1988. Habitat-dependent population regulation and community structure. *Evolutionary Ecology* 2(3): 253-269.
- Musser, G. G. and M. D. Carleton. 2005. Superfamily Muroidea in mammal species of the world: A taxonomic and geographic reference, 3rd edition (eds. Wilson, D. E. and D. M. Reeder). Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Nakata, K.. 1998. Handbook for vole census methods and control, 2nd edition. Hokkaido Forest Conservation Association, Sapporo. pp. 71 (in Japanese summary).
- Nemirov, K., O. Vapalahti, A. Lundkvist, V. Vasilenko, I. Golovljova, A. Plyusnina, J. Niemimaa, J. Laakkonen, H. Henttonen, A. Vaheri and A. Plyusnin. 1999. Isolation and characterization of Dobrava hantavirus carried by the striped field mouse (*Apodemus agrarius*) in Estonia. *Journal of general virology* 80(2): 371-379.
- Nichols, J. D.. 1992. Capture-recapture models using marked animals to study population dynamics. *Bioscience* 42(2): 94-102.
- Nordyke, K. A. and S. W. Buskirk. 1991. Southern red-backed vole, *Clethrionomys gapperi*, populations in relation to stand



- succession and old-growth character in the central Rocky Mountains. *Canadian field-naturalist* 105(3): 330–334.
- O’Guinn, M. L., T. A. Klein, J. S. Lee, H. C. Kim, L. J. Baek, S. T. Chong, M. J. Turell, D. A. Burkett, A. Schuster, I. Y. Lee, S. H. Yi, W. J. Samse, K. J. Song and I. Y. Lee. 2008. Ecological surveillance of small mammals at firing points 10 and 60, Gyeonggi Province, Republic of Korea, 2001–2005. *Journal of Vector Ecology* 33(2): 370–384.
- Ohdachi, S. D., Y. Ishibashi, M. A. Iwasa and T. Saitoh. 2009. The wild mammals of Japan. Shoukadoh Book Sellers, Tokyo.
- Okulova, N., L. Khlyap, F. Bidashko, A. Warshavskiy, A. Grazhdanov and V. Neronov. 2014. Rodent communities of the western Kazakhstan oblast of the Republic of Kazakhstan. Message 1. Maps of rodent communities and zoogeographic regionalization. *Arid Ecosystems* 4(2): 75–84.
- Oliver, C. D. and B. C. Larson. 1990. Forest stand dynamics. McGraw-Hill, New York, NY.
- Oshida, T., R. Masuda and M. C. Yoshida. 1996. Phylogenetic relationships among Japanese species of the family Sciuridae (Mammalia, Rodentia), inferred from nucleotide sequences of mitochondrial 12S ribosomal RNA genes. *Zoological science* 13(4): 615–620.
- Ottman, M. J. and L. F. Welch. 1989. Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in maize. *Agronomy Journal* 81(2): 167–174.
- Park, S. J., S. J. Rhim, E. J. Lee, W. S. Lee and C. C. Maguire. 2014. Home range, activity patterns, arboreality, and day refuges of the Korean wood mouse *Apodemus peninsulae* (Thomas, 1907) in a temperate forest in Korea. *Mammal Study* 39(4): 209–217.

- Pearson, D. E.. 2000. Small mammals of the Bitterroot National Forest: Ecological significance and guidelines for management. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-17.
- Penner, J. L. and L. D. Devenport. 2011. A comparative study of caching and pilfering behavior in two sympatric species, least chipmunks (*Tamias minimus*) and eastern chipmunks (*Tamias striatus*). Journal of Comparative Psychology 125(4): 375.
- Pisanu, B., M. Marsot, J. Marmet, J. L. Chapuis, D. Réale and G. Vourc'h. 2010. Introduced Siberian chipmunks are more heavily infested by ixodid ticks than are native bank voles in a suburban forest in France. International journal for parasitology 40(11): 1277-1283.
- Pisanu, B., E. Obolenskaya, E. Baudry, A. Lisovsky and J. L. Chapuis. 2013. Narrow phylogeographic origin of five introduced populations of the Siberian chipmunk *Tamias* (*Eutamias*) *sibiricus* (Laxmann, 1769) (Rodentia: Sciuridae) established in France. Biological invasions 15(6): 1201-1207.
- Prevedello, J. A., R. G. Rodrigues and de Araujo Monteiro-Filho, E. L. 2010. Habitat selection by two species of small mammals in the Atlantic Forest, Brazil: Comparing results from live trapping and spool-and-line tracking. Mammalian Biology-Zeitschrift für Säugetierkunde 75(2): 106-114.
- Ramirez, P. and M. Hornocker. 1981. Small mammal populations in different-aged clearcuts in northwestern Montana. Journal of Mammalogy 62(2): 400-403.
- Rhim, S. J. and W. S. Lee. 1999. Differences in small mammal populations due to different habitat structure in natural deciduous forest. Journal of Korean Forestry Society 88: 179-184.

- Rhim, S. J. and W. S. Lee. 2001a. The effect of dead wood and understory coverage on small rodent abundance in Korean forest. *Journal of Forestry Research* 12(4): 243–246.
- Rhim, S. J. and W. S. Lee. 2001b. Habitat preferences of small rodents in deciduous forests of north-eastern South Korea. *Mammal Study* 26(1): 1–8.
- Rosenzweig, M. L. 1981. A theory of habitat selection. *Ecology* 62(2): 327–335.
- Savage, V. M., J. Gillooly, W. Woodruff, G. West, A. Allen, B. Enquist and J. Brown. 2004. The predominance of quarter-power scaling in biology. *Functional Ecology* 18(2): 257–282.
- Schieck, J. and S. J. Song. 2006. Changes in bird communities throughout succession following fire and harvest in boreal forests of western North America: literature review and meta-analyses. *Canadian Journal of Forest Research* 36(5): 1299–1318.
- Schlitter, D., E. van der Straeten, G. Amori, R. Hutterer, B. Kryštofek, N. Yigit and G. Mitsin. 2008. *Apodemus sylvaticus*, IUCN 2012. IUCN redlist of threatened species, Version 2012. 2. [www.iucnredlist.org](http://www.iucnredlist.org) (accessed 01. 12. 15).
- Schwarz, S. S., A. V. Pokrovski, V. G. Istchenko, V. G. Olenjev, N. A. Ovtschinnikova and O. A. Pjastolova. 1964. Bioluyical peculiarities of seasonal generations of rodents, with special reference to the problem of senescence in mammals. *Acta theriologica* 8(2): 11–43.
- Serizawa, K., H. Suzuki and K. Tsuchiya. 2000. A phylogenetic view on species radiation in *Apodemus* inferred from variation of nuclear and mitochondrial genes. *Biochemical genetics* 38(1–2): 27–40.

- Serizawa, K., H. Suzuki, M. A. Iwasa, K. Tsuchiya, M. V. Pavlenko, I. V. Kartavtseva, G. N. Chelomina, N. E. Dokuchaev and S. H. Han. 2002. A spatial aspect on mitochondrial DNA genealogy in *Apodemus peninsulae* from east Asia. *Biochemical genetics* 40(5): 149–161.
- Shiraishi, S. and A. Arai. 1980. 陸上動物調査 (2) 主に哺乳動物 in 尖閣諸島調査報告書, 學術調査編. Okinawa Development Agency, Tokyo. pp. 47–86 (in Japanese summary).
- Shorohova, E. V. and A. A. Shorohov. 2001. Coarse woody debris dynamics and stores in a boreal virgin spruce forest. *Ecological Bulletins* 49: 129–135.
- Sikorski, M. D. 1982. Non-metrical divergence of isolated populations of *Apodemus agrarius* in urban areas. *Acta theriologica* 27(13): 169–180.
- Simeonovska-Nikolova, D. M. 2007. Interspecific social interactions and behavioral responses of *Apodemus agrarius* and *Apodemus flavicollis* to conspecific and heterospecific odors. *Journal of ethology* 25(1): 41–48.
- Society of American Foresters. 1981. Choices in silviculture for American forests. Society of American Foresters. Bethesda, MD.
- Son, Y. W., Y. Y. Lee, R. H. Kim, K. W. Seo, J. Y. Ban, K. Y. Seo, J. W. Koo, J. H. Kyung and N. J. Noh. 2004a. Changes in understory vegetation of a thinned Japanese larch (*Larix leptolepis*) plantation in Yangpyeong, Korea. *The Korean Journal of Ecology* 27(6): 363–367.
- Son, Y. W., Y. Y. Lee, Y. C. Jun and Z. S. Kim. 2004b. Light availability and understory vegetation four years after thinning in a *Larix leptolepis* plantation of central Korea. *Journal of forest research* 9(2): 133–139.

- Song, K. J., L. J. Baek, S. Moon, S. J. Ha, S. H. Kim, K. S. Park, T. A. Klein, W. Sames, H. C. Kim, J. S. Lee, R. Yanagihara and J. W. Song. 2007. Muju virus, a novel hantavirus harboured by the arvicolid rodent *Myodes regulus* in Korea. *Journal of general virology* 88(11): 3121–3129.
- Song, J. W., S. S. Moon, S. H. Gu, K. J. Song, L. J. Baek, H. C. Kim, T. Kijek, M. L. O’Guinn, J. S. Lee, m. J. Turell and T. A. Klein. 2009. Hemorrhagic fever with renal syndrome in 4 US soldiers, South Korea, 2005. *Emerging infectious diseases* 15(11): 1833.
- Sullivan, T. P. and D. S. Sullivan. 1988. Influence of stand thinning on snowshoe hare population dynamics and feeding damage in lodgepole pine forest. *Journal of Applied Ecology* 25(3): 791–805.
- Sullivan, T. P. and D. S. Sullivan. 2001. Influence of variable retention harvests on forest ecosystems. II. Diversity and population dynamics of small mammals. *Journal of Applied Ecology* 38: 1234–1252.
- Sullivan, T. P., D. S. Sullivan and P. M. Lindgren. 2001. Stand structure and small mammals in young lodgepole pine forest: 10-year results after thinning. *Ecological Applications* 11(4): 1151–1173.
- Sullivan, T. P., D. S. Sullivan, P. M. Lindgren and D. B. Ransome. 2009. Stand structure and the abundance and diversity of plants and small mammals in natural and intensively managed forests. *Forest Ecology and Management* 258: S127–S141.
- Sullivan, T. P., D. S. Sullivan, P. M. Lindgren and D. B. Ransome. 2013. Stand structure and small mammals in intensively managed forests: scale, time, and testing extremes. *Forest Ecology and Management* 310: 1071–1087.

- Suselbeek, L., W. J. Emsens, B. T. Hirsch, R. Kays, J. M. Rowcliffe, V. Zamora-Gutierrez and P. A. Jansen. 2014. Food acquisition and predator avoidance in a Neotropical rodent. *Animal Behaviour* 88: 41–48.
- Suzuki, N. and J. P. Hayes. 2003. Effects of thinning on small mammals in Oregon coastal forests. *The Journal of wildlife management* 67(2): 352–371.
- Suzuki, H., J. J. Sato, K. Tsuchiya, J. Luo, Y. P. Zhang, Y. X. Wang and X. L. Jiang. 2003. Molecular phylogeny of wood mice (*Apodemus*, Muridae) in east Asia. *Biological Journal of the Linnean Society* 80(3): 469–481.
- Szacki, J. and A. Liro. 1991. Movements of small mammals in the heterogeneous landscape. *Landscape Ecology* 5(4): 219–224.
- Tevis, L.. 1956a. Invasion of a logged area by golden-mantled squirrels. *Journal of Mammalogy* 37(2): 291–292.
- Tevis, L.. 1956b. Responses of small mammal populations to logging of douglas-fir. *Journal of Mammalogy* 37(2): 189–196.
- Theodorsson-Norheim, E.. 1986. Kruskal-Wallis test: BASIC computer program to perform nonparametric one-way analysis of variance and multiple comparisons on ranks of several independent samples. *Computer Methods and Programs in Biomedicine* 23(1): 57–62.
- Thorington, R. W. Jr. and R. S. Hoffmann. 2005. Family Sciuridae in *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference*, 3rd edition (eds. Wilson, D. E. and D. M. Reeder). Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD. pp. 754–818.
- Toal, M. E., D. Copplestone, M. S. Johnson, D. Jackson and S. R. Jones. 2001. A dynamic compartmental food chain model of radiocaesium transfer to *Apodemus sylvaticus* in woodland

- ecosystems. Science of the total environment 267(1): 53-65.
- Tsuchiya, K.. 1985. Notes on wood mouse groups for laboratory animal. Association report of Kyushu branch. Japanese association of laboratory animals and technology 8: 4-12 (in Japanese summary).
- Valenzuela, D. and G. Ceballos. 2000. Habitat selection, home range, and activity of the white-nosed coati (*Nasua narica*) in a Mexican tropical dry forest. Journal of Mammalogy 81(3): 810-819.
- Varmola, M. and H. Salminen. 2004. Timing and intensity of precommercial thinning in *Pinus sylvestris* stands. Scandinavian Journal of Forest Research 19(2): 142-151.
- Wang, Y., C. Zhou, J. Zhang, Y. Zhou, J. Hu and Y. Xiong. 2004. Spatial niche of the rodents in summer in Tangjiahe nature reserve. Acta theriologica Sinica 25(1): 39-44.
- Wayman, R. B. and M. North. 2007. Initial response of a mixed-conifer understory plant community to burning and thinning restoration treatments. Forest Ecology and Management 239(1): 32-44.
- Whitaker, J. O. and W. J. Hamilton. 1998. Mammals of the eastern United States: Cornell University Press, Ithaca, NY.
- Williams. W. A., R. S. Loomis and C. R. Lepley. 1965. Vegetative growth of maize as affected by population density, I. Productivity in relation to interception of solar radiation. Crop Science 5(3): 211-215.
- Wu-Pin, H.. 1958. On the changing tendencies of the rodent population in the recent cut-over land at dailing northeast China. Acta Zoologica Sinica 4: 13.
- Yahner, R. H.. 1986. Microhabitat use by small mammals in

- even-aged forest stands. *American Midland Naturalist* 115(1): 174–180.
- Yahner, R. H.. 2000. Eastern deciduous forest: ecology and wildlife conservation. 2nd edition. University of Minnesota Press, Minneapolis, MN.
- Yahner, R. H., C. G. Mahan, and A. D. Rodewald. 2012. Managing forests for wildlife. In the wildlife techniques manual: vol. 2 management (ed. Silvy, N. J.). The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD.
- Yang, Y. and X. Yi. 2011. Effectiveness of Korean pine (*Pinus koraiensis*) seed dispersal by small rodents in fragmented and primary forest. *Polish Journal of Ecology* 59(2): 413–422.
- Yang, Z. X. and Y. I. Zheng. 2003. Age estimation of population of *Apodemus agrarius* with body weight without viscera. *Journal of Mountain Agriculture and Biology* 22(5): 393–398.
- Yi, X., Y. Yang and Z. Zhang. 2011. Effect of seed availability on hoarding behaviors of Siberian chipmunk (*Tamias sibiricus*) in semi-natural enclosures. *mammalia* 75(4): 321–326.
- Yi, X., M. A. Steele and Z. Zhang. 2012. Acorn pericarp removal as a cache management strategy of the Siberian chipmunk, *Tamias sibiricus*. *Ethology* 118(1): 87–94.
- Yi, X., G. Liu, M. A. Steele, Z. Shen and C. Liu. 2013. Directed seed dispersal by a scatter-hoarding rodent: the effects of soil water content. *Animal Behaviour* 86(4): 851–857.
- Ylonen, H., H. J. Altner and M. Stubbe. 1991. Seasonal dynamics of small mammals in an isolated woodlot and its agricultural surroundings. *Annales Zoologici Fennici* 28(1): 7–14.
- Yoneda, M. and K. Nakata. 1984. Natural enemy in study on wild murid rodents in Hokkaido (ed. Ota, K.). Hokkaido University



- Press, Sapporo. pp. 159–185 (in Japanese summary).
- Youngman, P. M.. 1956. A population of the striped field mouse, *Apodemus agrarius coreae*, in central Korea. Journal of Mammalogy 37(1): 1–10.
- Zaixue, Y., Z. Yuanli, G. Shiping and J. Xing. 2007. Study on the seasonal population dynamics and prediction of *Apodemus agrarius*. Chinese Agricultural Science Bulletin 23(2): 193.
- Zhang, H., Y. Chen and Z. Zhang. 2008. Differences of dispersal fitness of large and small acorns of Liaodong oak (*Quercus liaotungensis*) before and after seed caching by small rodents in a warm temperate forest, China. Forest Ecology and Management 255(3): 1243–1250.
- Zhang, H. and Y. Wang. 2011. Differences in hoarding behavior between captive and wild sympatric rodent species. Current Zoology 57(6): 725–730.
- Zhang, Y. Z., Y. Zou, L. S. Yao, G. W. Hu, Z. S. Du, L. Z. Jin, Y. Y. Liu, H. X. Wang, X. Chen, H. X. Chen and Z. F. Fu. 2007. Isolation and characterization of hantavirus carried by *Apodemus peninsulae* in Jilin, China. Journal of general virology 88(4): 1295–1301.
- Zhang, H., H. Gao, Z. Yang, Z. Wang, Y. Luo and Z. Zhang. 2014. Effects of interspecific competition on food hoarding and pilferage in two sympatric rodents. Behaviour 151(11): 1579–1596.
- Zwolak, R.. 2009. A meta-analysis of the effects of wildfire, clearcutting, and partial harvest on the abundance of North American small mammals. Forest Ecology and Management 258(5): 539–545.

## Abstract

# Changes of rodent community and habitat structure with time elapse after thinning in Japanese larch (*Larix kaempferi*) plantations

Jeon, Jonghoon

Major in Forest Environmental Science

The Graduate School

Seoul National University

This study was conducted to investigate the change of rodent community structure and habitat structure following succession after thinning, with retrospective approach. Among the Japanese larch (*Larix kaempferi*) plantation stands at Janggun-bong area, Bonghwagun-county, Gyeong-buk province, each of three plots at unthinned control and treatment stands were selected in regard to different years past after thinning (1S: 1 year after thinning stand, 3S: 3 years after thinning stand, 7S: 7 years after thinning stand). I measured forest habitat variables of different vertical layers (tree,

subtree, shrub, and herbaceous plants) and other variables (leaf litter depth, coarse woody debris, and rock cover) at each survey plots in August to September 2015. Rodent community study, using live-trapping method was conducted during June and July 2015.

Thinned plantations had higher tree height and larger DBH (Diameter at breast) than unthinned control stand. 1S stand had the highest number and number of CWD (Coarse Woody Debris). Herbaceous plant and shrub density were the highest in 3S stand followed by 7S, 1S stands. This results reflect the understory growth of thinned stands were increased after thinning, when canopy cover has decreased (1S-3S), followed by the regrowth of tree crown and decrease of understory vegetation (7S). The mass of CWD did not differ between the thinned treatments, but the numbers decreased in older (3S, 7S) plots after thinning than recently thinned plots (1S). Four species and 468 individuals of small terrestrial rodents were trapped for 923 capture: *Apodemus agarius* (*Aa*), *Apodemus peninsulae* (*Ap*), *Myodes regulus* (*Mr*), and *Tamias sibiricus* (*Ts*). Total number of individual rodents were significantly higher in thinned treatment plots than unthinned control plot, possibly due to the increased cover and food availability in relation to the increased understory vegetation and CWD. There was significant difference in community structure between each treatment plots and control plots. *Aa* represented the highest proportion in all stands, *Ap* and *Mr* showed relatively higher proportion in 1S stand than others, while *Ts* only appeared in thinned plots, and increased as the number of years

after thinning increased. The relative abundance of each species were related to different habitat variables. Canonical correlation analyses (CCA) represented the relationship between habitat variables and rodent species. *Aa* showed the lowest relationship with most of the variables, but slightly associated with coverage of rock and herbaceous plants, *Ap* and *Mr* showed positive relationship with the volume of CWD and tree canopy coverage. The capture rate of *Ts* was highly related to the high number of shrub stems, and increased coverage of shrub layer and leaf litter depth. Such relationship may indicate habitat niche of each species; we suggest that *Aa* may be a habitat generalist, which can utilize broad range of forest habitats, *Ap* and *Mr* are specialized on CWD and high tree canopy coverage. *Ts* prefer habitat with high density shrubs and midstory cover. The vegetative change expected after years thinning may affect rodent community, by altering habitat structure and components in Japanese larch plantations in Korea. I suggest that when conducting and planning thinning and further other silvicultural practices, one should consider such unintended consequences influence on forest rodent community. Based on these results, thinning can act as a positive habitat management to the small terrestrial rodent species at Japanese larch plantations in Korea.

**keywords:** canonical correlation analysis, coarse woody debris,  
forest habitat structure, habitat niche, Japanese larch  
plantations, rodent, understory vegetation

**Student Number:** 2014-20037